



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

## **Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)**

---

**Document de recherche 2019/008**

**Région de Terre-Neuve-et-Labrador**

### **Analyse de la variabilité des courants océaniques dans la région de Coast of Bays**

A.W. Ratsimandresy, S. Donnet, S. Snook et P. Goulet

Direction des sciences  
Pêches et Océans Canada  
80, chemin East White Hills, boîte postale 5667,  
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

---

## Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

### Publié par :

Pêches et Océans Canada  
Secrétariat canadien de consultation scientifique  
200, rue Kent  
Ottawa (ON) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/  
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019  
ISSN 2292-4272

### La présente publication doit être citée comme suit :

Ratsimandresy, A.W., Donnet, S., Snook, S., et P. Goulet. 2019. Analyse de la variabilité des courants océaniques dans la région de Coast of Bays. Secr. can. de consult. sci. du. MPO, Doc. de. rech. 2019/008. viii + 61 p.

### **Also available in English :**

*Ratsimandresy, A.W., Donnet, S., Snook, S., and P. Goulet. 2019. Analysis of the variability of the ocean currents in the Coast of Bays area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/008. viii + 59 p.*

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX .....	IV
LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES ACRONYMES.....	VII
RÉSUMÉ .....	VIII
INTRODUCTION .....	1
INSTRUMENTS, DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE .....	3
COLLECTE ET RÉDUCTION DES DONNÉES.....	3
ANALYSE DES DONNÉES.....	5
Statistiques sommaires .....	5
Analyse de la vitesse du courant.....	5
Analyse des marées.....	6
RÉSULTATS.....	11
SÉRIES CHRONOLOGIQUES DES COURANTS DANS LA RÉGION DE COAST OF BAYS .....	11
ANALYSE DE LA VITESSE DU COURANT.....	12
Vitesse médiane du courant.....	12
Vitesse maximale du courant enregistrée.....	13
Éventail de vitesses du courant.....	14
Variabilité temporelle.....	20
ANALYSE DE LA VÉLOCITÉ DU COURANT .....	26
Baie d’Hermitage – Baie d’Espoir .....	26
Belle Bay.....	27
Péninsule de Connaigre .....	28
DISCUSSION.....	43
CONCLUSION ET RECOMMANDATION .....	47
REMERCIEMENTS .....	49
RÉFÉRENCES CITÉES.....	49
ANNEXE I.....	53
ANNEXE II.....	57
ANNEXE III.....	58
ANNEXE IV.....	59
ANNEXE V.....	61

---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résumé des données de courants collectées par les ADCP dans la région de Coast of Bays entre 2009 et 2014. ....	4
Tableau 2 : Sommaire (moyenne et écart-type) des constituants principaux de marées dans la région de Coast of Bays, calculé à partir de données du capteur de pression des ADCP, amplitude moyenne (cm) et phase (degrés) .....	35
Tableau 3 : Vitesses du courant de marée maximales (cm/s) pour les constituants principaux calculées à partir des données de moyenne verticale des courants .....	39

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Zone d'étude de Coast of Bays montrant les différentes régions d'intérêt : Baie d'Hermitage, Baie d'Espoir, Belle Bay, Baie de Connaigre, port Breton, Northeast Arm et Great Bay de l'Eau. La figure illustre également l'emplacement des exploitations aquacoles détenant un permis (points rouges et bleus) dans la région de Coast of Bays (donnée de novembre 2015, source : Department of Fisheries and Aquaculture 2015) Une carte détaillée des régions particulières spécifiant les noms utilisés dans le présent document est insérée dans les panneaux du bas. ....	7
Figure 2. Configuration des amarrages d'ADCP.....	8
Figure 3. Stations d'ADCP dans la région de Coast of Bays. ....	9
Figure 4. Profondeur à laquelle est mesurée la première cellule (panneau du haut), hauteur au-dessus du fond de la cellule la plus profonde mesurée (panneau du milieu), pourcentage de couverture de la colonne d'eau (panneau du bas) des séries chronologiques de courants marins analysés.....	10
Figure 5. Séries chronologiques de 15 jours (1 <sup>er</sup> juillet 2011 – 16 juillet 2011) de la vitesse du courant (panneau du haut) et de la direction du courant (panneau du bas) pour la station BB008 de Belle Bay.....	11
Figure 6. Roses de courant montrant la répartition de la vitesse et de la direction du courant à des profondeurs de 7,5 m (panneau de gauche) et de 50,5 m (panneau de droite) à la station BB008 correspondant à l'ensemble de la période de mesure (du 8 mai 2011 au 24 octobre 2011). Chaque segment illustre la direction vers laquelle le courant se déplace.....	12
Figure 7. Vitesse médiane du courant (cm/s) dans la couche supérieure pour la région de Coast of Bays.....	15
Figure 8. Vitesse médiane du courant (cm/s) dans la couche inférieure pour la région de Coast of Bays.....	15
Figure 9. vitesse maximale du courant (cm/s) enregistrée dans la couche supérieure .....	16
Figure 10. Vitesse maximale du courant (cm/s) enregistrée dans la couche inférieure.....	16
Figure 11. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir. Le diagramme présente des informations de vitesse médiane et d'écart interquartile des données, les vitesses du courant supérieures à la borne supérieure (valeurs supérieures à 1,5 x EI à partir du troisième quartile) étant représentées par des cercles ouverts.....	17

---

Figure 12. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies dans la Baie d’Hermitage – Baie d’Espoir (analogue à la Figure 11). .....	17
Figure 13. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies dans Belle Bay (analogue à la Figure 11). .....	18
Figure 14. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies dans Belle Bay (analogue à la Figure 11). .....	18
Figure 15. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies à la Péninsule de Connaigre (analogue à la Figure 11). .....	19
Figure 16. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies à la Péninsule de Connaigre (analogue à la Figure 11). 19	
Figure 17. Variabilité saisonnière des courants médians (cm/s) dans la couche supérieure pour le printemps, l’été et l’automne. ....	21
Figure 18. Variabilité saisonnière de la vitesse du courant maximale (cm/s) dans la couche supérieure pour le printemps, l’été et l’automne. ....	22
Figure 19. Variabilité saisonnière des courants médians (cm/s) dans la couche inférieure pour le printemps, l’été et l’automne. ....	23
Figure 20. Variabilité saisonnière de la vitesse du courant maximale (cm/s) dans la couche inférieure pour le printemps, l’été et l’automne. ....	24
Figure 21. Exemple de variabilité mensuelle de la vitesse du courant dans la couche supérieure pour les stations (A) BDE19 dans la Baie d’Espoir, (B) BB008 dans Belle Bay et (C) CB006 dans la Baie de Connaigre. 25 %, médiane et 75 % représentent les 25 <sup>e</sup> , 50 <sup>e</sup> et 75 <sup>e</sup> percentiles, la borne supérieure est la valeur décrite dans la méthodologie sur les statistiques sommaires et Max est la vitesse du courant maximale enregistrée. ....	25
Figure 22. Courants moyens dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Baie d’Hermitage – Baie d’Espoir. ....	29
Figure 23. Courants maximaux enregistrés dans la Baie d’Hermitage – Bie d’Espoir pour la couche supérieure (panneau du haut) et pour la couche inférieure (panneau du bas). ....	30
Figure 24. Courants moyens enregistrés dans la couche supérieure (panneau de gauche) et dans la couche inférieure (panneau de droite) dans la région de Belle Bay. Les points sans flèche signifient que les données n’étaient pas disponibles. Veuillez noter le changement d’échelle pour les courants dans Belle Bay. ....	31
Figure 25. Courants maximaux enregistrés dans Belle Bay pour la couche supérieure (panneau de gauche) et pour la couche inférieure (panneau de droite). ....	32
Figure 26. Courants moyens enregistrés dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Péninsule de Connaigre. ....	32
Figure 27. Courants maximaux enregistrés dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Péninsule de Connaigre. MARÉES .....	33
Figure 28. Amplitude (cm) et phase (°) des principaux constituants des marées calculées à partir des données du capteur de pression des ADCP. ....	36

---

---

Figure 29. Amplitude en centimètres (panneau du haut) et phase en degrés (panneau du bas) des marées M2 calculées à partir des données du capteur de pression des ADCP. ....	37
Figure 30. Contribution des marées à la variabilité du niveau de la mer, en pourcentage. ....	38
Figure 31. Vitesse du courant maximale (cm/s) pour les courants de marée M2 calculée à partir de la moyenne verticale des courants. ....	39
Figure 32. Ellipse des marées M2 calculée à partir de la moyenne verticale des courants dans a) la Baie d'Espoir, b) la Péninsule de Connaigre et c) Belle Bay. Veuillez noter le changement d'échelle pour la région de Belle Bay. ....	40
Figure 33. Contribution des courants de marée en pourcentage dans la couche supérieure à 20 m. Le panneau du haut représente la contribution pour la composante de l'ouest vers l'est (zonale) des courants et le panneau du bas représente la contribution pour la composante du sud vers le nord (méridionale) des courants.....	41
Figure 34. Contribution des courants de marée en pourcentage dans la couche inférieure (en deçà de 20 m de profondeur). Le panneau du haut représente la contribution pour la composante de l'ouest vers l'est (zonale) des courants et le panneau du bas représente la contribution pour la composante du sud vers le nord (méridionale) des courants.....	42

---

## LISTE DES ACRONYMES

<b>Acronyme</b>	<b>Nom</b>	<b>Description</b>
ADCP	Profileur de courant à effet Doppler	Instrument utilisé pour mesurer la vitesse du courant de l'eau
BB	Belle Bay	Baie d'intérêt de grande importance
BC	Baie de Connaigre	Baie d'intérêt de grande importance
BDE	Baie d'Espoir	Baie d'intérêt de grande importance
BH-BDE	Baie d'Hermitage-Baie d'Espoir	Région comprenant la Baie d'Hermitage et la Baie d'Espoir
EI	Écart interquartile	Mesure de la dispersion statistique
GBDE	Great Bay de l'Eau	Baie d'intérêt majeur dans le cadre de cette étude; également un chenal important de la région de la Péninsule de Connaigre
HB-NA	Harbour Breton-Northeast Arm	Baie d'intérêt majeur dans le cadre de cette étude; également un chenal important de la région de la Péninsule de Connaigre
PC	Péninsule de Connaigre	Vaste région comprenant la Baie de Connaigre, Harbour Breton-Northeast Arm et Great Bay de l'Eau
SHC	Service hydrographique du Canada	Bureau fédéral d'hydrographie (Canada)

---

## RÉSUMÉ

Malgré l'importance des phénomènes comme le transport de particules vers les sites d'aquacultures ou de particules émanant de ces sites, très peu de recherches ont été réalisées sur le régime de courants marins dans « Coast of Bays », une région dans le sud de Terre-Neuve. Dans le but de combler cette nécessité et de comprendre la circulation des eaux littorales, des profileurs de courant à effet Doppler (ADCP) ont été utilisés pour mesurer le courant marin dans la région de «Coast of Bays » entre 2009 et 2014. Cette recherche décrit le résultat des analyses statistiques des courants mesurés et celui des analyses de marées (niveau de la mer et courant marins). Les analyses ont été effectuées sur deux couches de la colonne d'eau, à savoir la couche supérieure (0-20 m de profondeur) et la couche inférieure en dessous de 20 m.

Le résultat montre des variabilités spatiales et temporelles significative du courant. Des courants à faible vitesses médianes ont été mesurés dans les anses abritées et ceux avec des fortes vitesses médianes ont été mesurés dans les régions de constriction comme celles aux environs des seuils and celles à l'intérieur des chenaux étroits. La vitesse maximale enregistrée à chaque station était généralement cinq à dix fois plus grande que la vitesse médiane. La vitesse du courant dans la couche superficielle est généralement supérieure à celle de la couche en profondeur (1.3 fois plus large). L'analyse saisonnière de la vitesse de courant a montré que la vitesse médiane a une tendance d'être légèrement plus grande pendant l'automne que pendant les autres saisons. L'analyse de variabilité mensuelle a montré des maxima plus grands durant les mois d'été ou d'automne. Du point de vue marée, la contribution de la marée à la variance du niveau de la mer est élevée (~84 %) tandis que la contribution à la variance de la moyenne verticale des courants est très faible (~10 %) à l'exception de celle de la région de Baie d'Espoir où elle est généralement aux alentours de 25 %. Ces résultats suggèrent l'existence d'autres phénomènes plus importants, outre la marée, qui forcent la circulation dans la région de « Coast of Bays ».

L'analyse a permis d'obtenir des données de base sur les conditions de circulation océaniques des eaux dans la région et sur le rôle de la marée. Cette analyse sert aussi à l'évaluation de la possibilité d'échange d'eau entre les sites d'aquaculture et au développement des mesures de réglementation (aires d'aquaculture) qui permettront d'assurer la durabilité des activités d'aquaculture dans la province de Terre Neuve et Labrador.



---

## INTRODUCTION

La compréhension des courants océaniques est une nécessité pour l'industrie de l'aquaculture. Les conditions des courants océaniques ont une incidence sur des processus comme la diffusion des panaches d'effluents provenant des exploitations aquacoles (Venayagamoorthy *et al.* 2011), les limites des zones de mélange en aval des cages (Helsley et Kim 2005) ou la conservation des concentrations d'oxygène dissous à des niveaux proches de la saturation (Boghen 1995) par l'entremise de bons taux de renouvellement des eaux. Parmi d'autres effets des courants océaniques et de leur structure verticale figurent l'impact sur le comportement des poissons dans les cages et l'incidence sur la structure des bancs de poissons (Oppedal *et al.* 2011, Johansson *et al.* 2014). Du point de vue de la structure des cages, les courants peuvent causer un changement de la forme des cages et réduire le volume interne disponible pour les poissons (Lader *et al.* 2008), créant ainsi un stress potentiel sur les poissons d'élevage. On a également montré que les courants océaniques jouaient un rôle très important dans le transport des agents pathogènes entre sites aquacoles. Selon des études menées en Norvège, des maladies comme l'anémie infectieuse du saumon pouvaient se propager entre les exploitations, car le virus peut être transporté de façon passive par les mouvements d'eau de mer (Vågsholm *et al.* 1994, Jarp et Karlsen 1997). Des processus de transport semblables ont été observés à une échelle locale en Écosse et dans le sud-ouest de la région du Nouveau-Brunswick et du Maine (JGIWG 2000, Murray 2003, McClure *et al.* 2005, Gustafson *et al.* 2007, Page *et al.* 2005).

Vu que la propagation des maladies représente une préoccupation croissante pour l'industrie de l'aquaculture marine, l'industrie de l'aquaculture du Nouveau-Brunswick, en collaboration avec la province du Nouveau-Brunswick, a élaboré une politique d'aires d'aquaculture (AA), qui consiste à mettre en œuvre un élevage de poissons d'une classe d'âge unique et à diviser les zones d'élevage du saumon en zones de gestion suivant une combinaison de facteurs comme l'océanographie, la santé du poisson et les facteurs commerciaux et opérationnels afin que l'on puisse améliorer la santé du poisson et assurer la durabilité environnementale (Chang *et al.* 2014). Les aires d'aquaculture ont été évaluées selon des calculs de zones d'influence de sites aquacoles faits avec un certain nombre d'outils. L'un de ces outils est un modèle de circulation marine qui nous permet d'obtenir de l'information sur la marée dans la région. Dans leur étude, les auteurs ont défini le déplacement de la marée et l'ont utilisée pour délimiter les mouvements d'eau à partir d'un site aquacole vers la zone environnante, présumant ainsi l'action prédominante des marées dans la production de courants marins susceptibles de transporter des agents pathogènes potentiels (ce qui est une réalité au Nouveau-Brunswick).

Avec la croissance de l'industrie aquacole à Terre-Neuve-et-Labrador, le ministère de pêches et aquaculture de la province sont en train d'établir des aires d'aquaculture des baies pour mieux gérer l'expansion de l'industrie (Department of Fisheries and Aquaculture 2014a). À Terre-Neuve-et-Labrador, les activités d'aquaculture de poissons à nageoires ont débuté au milieu des années 1980 dans la région de la Baie d'Espoir, et plus tard dans Belle Bay, toutes des baies se trouvant dans la région de Coast of Bays (Figure 1 et annexe 1) avec des plans d'expansion de ces activités à d'autres baies (DFA 2014a). Cette croissance s'est traduite par une hausse du nombre de permis d'aquaculture délivrés ainsi que par une augmentation de la superficie utilisée pour la réalisation de ces activités (DFA 2014b). Des recommandations précoces fixant la distance de séparation des sites dans la région de Coast of Bays établissent que les exploitations aquacoles devraient être distantes d'au moins un kilomètre les unes des autres (G. Perry, Gestion de l'aquaculture, Pêches et Océans Canada (MPO), région de Terre-Neuve-et-Labrador, comm. pers.), tandis que les interactions possibles entre les activités aquacoles et d'autres activités comme la pêche ont été évaluées en utilisant un rayon de deux kilomètres, tel que mentionné dans le formulaire actuel de demande de permis d'aquaculture.

---

Cependant, la connaissance de la distance entre les sites n'est pas suffisante car il faut aussi connaître le temps nécessaire à une particule (par exemple, un virus) pour parcourir cette distance. La distance entre les sites, combinée au temps correspondant au cycle de vie des particules d'intérêt, peut être comparée à la vitesse du courant, de sorte que l'on puisse évaluer le rôle du transfert passif des virus entre sites à des fins d'étude de propagation de maladies (Foreman *et al.* 2015). Ainsi, comme les possibilités de transfert passif de particules changent en fonction de la circulation de l'eau dans la région, il est crucial que nous comprenions les courants océaniques et les différents mécanismes de forçage qui déterminent la circulation. D'autres mesures océanographiques pouvant aider l'aquaculture et son développement ont été prises dans la région (Taylor 1975, MSRL 1980, BDE-DA 1984, de Young 1983, Richard et Hay 1984, Tlusty *et al.* 1999, Pepper *et al.* 2003 et 2004, Anderson *et al.* 2005, Mansour *et al.* 2008, Burt *et al.* 2012), ces mesures se sont concentrées sur la température, la salinité et l'oxygène dissous. Cependant, peu d'études ont été menées sur les conditions des courants océaniques (p. ex., courants dus à la marée, au processus estuarien ou aux vents). De Young (1983) a analysé les courants océaniques près de l'embouchure de la Baie de Fortune, mais en se concentrant plus sur la circulation des eaux profondes (en dessous de 80 m), son résultat ne peut pas être appliqué à l'aquaculture vu que l'activité aquacole se passe près de la surface et au fond de la baie. Dans le cadre du Programme de recherche sur la réglementation de l'aquaculture (PRRA) du MPO, on a financé un projet de recherche visant à mener une étude océanographique de la côte sud de Terre-Neuve-et-Labrador. Pour ce projet, on a collecté des données de courants océaniques dans la région de Coast of Bays entre 2009 et 2014 afin de pouvoir améliorer notre compréhension de la circulation des eaux littorales. Ce projet comprenait des mesures de courants de surface au moyen de dériveurs de surface (Ratsimandresy *et al.* 2012) et des mesures de courants au moyen de profileurs de courant à effet Doppler.

Ce travail fait partie d'une série d'analyses qui nous aideront à comprendre les conditions océanographiques et les échanges d'eau entre les différentes baies de la région de Coast of Bays, à Terre-Neuve-et-Labrador (Figure 1), une région où se déroulent la plus grande partie des activités de salmoniculture de la province, avec les activités aquacoles affichant une expansion rapide (DFA 2014). Les résultats de ces analyses nous permettront de produire des avis scientifiques qui pourront servir à étayer des décisions de gestion visant à promouvoir une aquaculture durable. La série d'analyses touchent différents aspects physiques de la région, y compris une description de la géographie, de l'hydrologie et de l'océanographie de la région, avec un accent mis sur les marées et les apports côtiers d'eau douce, ainsi que sur la bathymétrie (Donnet *et al.* 2018a), et une analyse de la structure de l'eau dans la région et de sa variabilité spatiale et temporelle (Donnet *et al.* 2018b). D'autres aspects de l'océanographie physique de la région, notamment la circulation des eaux, lesquels permettent de délimiter des zones d'influence associées aux activités aquacoles, ont également été étudiés et seront décrits dans des publications futures. Le travail décrit dans le présent rapport comprendra une analyse des courants océaniques mesurés par les ADCP.

On décrira les analyses statistiques qui ont été réalisées sur les courants et le régime des marées (niveau de la mer et courants). Cette information servira comme données de base pour l'étude de la vitesse et de la direction des courants et nous permettra de mieux comprendre le rôle de la marée dans la circulation marine dans la région. Elle sera aussi utile dans le développement en cours d'un modèle de circulation des eaux côtières dans la région, par exemple à des fins de validation. La zone d'intérêt est la région de Coast of Bays, qui est située entre les 47° et 48° degrés Nord et le 54,5° et 56,5° degrés Ouest. Elle comprend trois grandes régions qui sont distinctes sur le plan physique (Donnet *et al.* 2018a) : la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir (BH-BDE) sur le côté ouest, la région de Belle Bay (BB) sur le côté est, et la Péninsule de Connaigre (PC) entre les deux. La Péninsule de Connaigre comprend la

---

Baie de Connaigre (BC), Harbour Breton – Northeast Arm (HB-NA) et Great Bay de l'Eau (GBDE).

Le travail est structuré comme suit. La prochaine section offre une brève description des instruments utilisés, de la méthodologie de l'analyse et des données. Les résultats sont présentés dans la troisième section, la discussion, dans la quatrième section, et le résumé des principaux résultats, de pair avec les recommandations, dans la dernière section. Les données utilisées et présentées dans ce rapport sont disponibles sur le [site Web](#) des données ouvertes du gouvernement du Canada.

## **INSTRUMENTS, DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE**

### **COLLECTE ET RÉDUCTION DES DONNÉES**

Les données présentées dans le rapport ont été recueillies à l'aide de divers ADCP « Workhorse Sentinel » de Teledyne RDI (Teledyne RDI de 300, 600 et 1 200 Hz, 2011). Tous les ADCP ont été configurés avec une direction orientée vers le haut et avec une taille de cellule entre 0,2 et 3 m selon la fréquence et la configuration de l'instrument. La grande partie du déploiement (78 ADCP sur un total de 84) a été configurée avec une taille de cellule d'un mètre et un degré d'incertitude (un écart-type) de la mesure de la vitesse du courant d'environ 1 cm/s. Onze instruments n'ont pas pu fournir des données utiles, dû à une défaillance de l'équipement, à une configuration inappropriée ou à une obstruction du faisceau acoustique par un objet quasi statique. Ainsi, 73 séries chronologiques de données de courants étaient disponibles pour ce travail. L'obstruction du faisceau acoustique n'a cependant pas affecté le capteur de pression et on a pu, ainsi, enregistrer cinq séries chronologiques supplémentaires de données sur le niveau de la mer. La Figure 2 illustre la configuration typique de l'amarrage, telle qu'utilisée lors de la collecte de données dans cette région. Au total, des données ont été collectées dans 53 stations, dont 29 se trouvaient dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, 15 dans la région de Belle Bay et 9 dans la région de la Péninsule de Connaigre (Figure 3). Sur ces 53 stations, 49 ont collecté des données de courants océaniques qu'on peut analyser (28 dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, 12 dans la région de Belle Bay et 9 dans celle de la Péninsule de Connaigre). Treize stations ont fait l'objet de redéploiements multiples. Plus de la moitié de ces stations (30 au total) ont été amarrées à proximité de zones dans lesquelles des activités aquacoles étaient, soit actives, soit prévues. Ainsi, bon nombre d'ADCP étaient déployés dans des zones situées près du rivage d'anses abritées ou de bras de mer (selon l'emplacement des exploitations aquacoles), tandis que d'autres étaient amarrés au-dessus de seuils ou au milieu de chenaux étroits au sein des baies. Les ADCP étaient amarrés à des profondeurs variant entre 9 et 154 m (50 % d'entre eux se situant dans une fourchette allant de 54 à 73 m de profondeur). La collecte de données a été réalisée durant les quatre saisons, l'accent étant mis sur les saisons printanière et automnale (Tableau 1). De façon générale, la collecte de données s'est effectuée sur une période entre 26 et 235 jours (avec une médiane de 91 jours). L'information sur la position, la date d'installation et la profondeur de chaque instrument ainsi que le diagramme de Gantt correspondant sont présentés à l'annexe 2.

Un effort particulier a été fait pour collecter le plus de données possible entre la profondeur à laquelle était installé l'ADCP et la surface de la mer, mais des limites inhérentes à l'instrument (interférence avec le lobe secondaire et zone morte) et des conditions propres aux sites ont réduit le profil de mesure.

Tableau 1: Résumé des données de courants collectées par les ADCP dans la région de Coast of Bays entre 2009 et 2014.

	Nombre de stations	Nombre total de jours de collecte	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Baie d'Hermitage – baie d'Espoir	28	3 244	3	3	3	12	18	21	22	15	18	17	10	3
Belle Bay	12	1 555	3	3	1	2	7	8	6	7	8	9	4	3
Péninsule de Connaigre	9	1 794	4	4	4	5	6	7	13	10	10	9	5	4

- Les interférences du lobe secondaire sont dues à l'orientation des capteurs de l'ADCP (c.-à-d. les transducteurs), ce qui entraîne la présence de bruit dans les données près des « surfaces dures » comme la surface ou le fond de la mer (Teledyne RDI Inc. 2011). Pour pallier à cela, les données recueillies sur les premières 6 % de la colonne d'eau à partir de la surface doivent être, en théorie, écartées lorsqu'on utilise des instruments avec un angle de 20° comme ceux qui ont été utilisés au cours de cette étude. En pratique, on a trouvé que jusqu'à 10 % des données recueillies dans la colonne d'eau devaient être écartées (p. ex., celles recueillies dans les cinq premiers mètres de la colonne d'eau à partir de la surface de la mer pour un ADCP installé à une profondeur de 50 m).
- À partir des transducteurs des ADCP jusqu'à la première cellule de la colonne d'eau où l'on prend les mesures, il y a une couche sans données due au bruit d'écho du transducteur. Cette distance est égale à environ 2 m pour un ADCP de 300 kHz (Teledyne RDI Inc. 2011). Ainsi, et en tenant compte de la configuration d'amarrage type utilisée (Figure 2), la cellule la plus profonde qu'il est possible de mesurer se situait à l'intérieur d'une fourchette de 4 à 6 m à partir du fond de la mer pour la plupart des mesures.
- Comme l'ADCP mesure les courants de l'eau en émettant des vagues de son qui rebondissent sur les particules en mouvement présentes dans la colonne d'eau, la force du signal de rétrodiffusion dépend de la présence ou de l'absence de telles particules. L'épuisement des piles vers la fin de quelques déploiements de longue durée a également entraîné une réduction de la fourchette de mesures. Lorsque le signal de rétrodiffusion chute en deçà du niveau de bruit de l'instrument, les données sur la vitesse du courant enregistrées par l'ADCP sont erronées et doivent être supprimées. Au total, 12 déploiements ont eu ce problème, ce qui s'est traduit par une collecte de mauvaises données à des profondeurs au-dessus de 20 m (Figure 4). Aucun patron temporel ou spatial particulier n'a été observé, les données recueillies en hiver, en été et entre ces saisons étant touchées de façon égale par ce problème. Cependant, la région de la Péninsule de Connaigre a été la moins affectée avec seulement trois déploiements touchés par ce problème (probabilité d'environ 50 % de moins que dans les régions de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir et de Belle Bay).

Ainsi, selon la profondeur à la station et les limites énumérées ci-dessus, certaines mesures étaient limitées à une tranche de 28 à 75 % de la colonne d'eau (27 déploiements sur les 73 disponibles, voir l'annexe 2). Pour la plus grande partie des déploiements (46), cependant, il a été possible d'obtenir de l'information sur plus de 75 % de la colonne d'eau à une station donnée et durant une période donnée. En gardant ces limitations à l'esprit, nous avons choisi

---

d'analyser les stations auxquelles on a enregistré au moins un mois de données continues, à un certain niveau, de manière à conserver une certaine représentativité statistique. Outre ce critère temporel, il a été nécessaire d'avoir accès à des données sur au moins cinq mètres d'épaisseur par couche afin de pouvoir calculer les statistiques pour ces couches.

Les données ont été extraites, traitées et contrôlées pour en vérifier la qualité au moyen d'une combinaison de logiciels qui sont venus avec l'instrument et des programmes internes, lesquels ont été utilisés de pair avec d'autres outils d'analyse et de graphique de données.

## **ANALYSE DES DONNÉES**

### **Statistiques sommaires**

Des analyses statistiques ont été réalisées sur les vitesses du courant mesurées en prenant en considération deux couches d'eau : la couche supérieure, qui est définie comme étant la couche se situant au-dessus de 20 m de profondeur (du premier mesure effectué le plus près de la surface jusqu'à 20 m), et la couche inférieure, qui est en dessous de 20 m (à partir de 20 m jusqu'à la profondeur à laquelle est installé l'instrument). La couche de surface de 20 m a été sélectionnée pour sa pertinence directe eu égard aux activités d'élevage du poisson, lesquelles emploient habituellement des cages à poisson d'une hauteur allant de 15 à 20 m, et également parce qu'il s'agit de la couche dans laquelle on trouve généralement le pycnocline (Donnet *et al.* 2018b). Toutes les données enregistrées dans la couche prise en considération ont été combinées en un ensemble de données unique et ont été utilisées pour calculer les statistiques.

Les vitesses du courant médianes et maximales collectées ont été examinées, et des diagrammes de quartiles (Statistique Canada 2013) ont été générés pour que l'on puisse fournir de l'information sur l'ampleur de la vitesse. Les diagrammes présentent un résumé des données qui comprend les différents quartiles, l'écart interquartile (EI) et les bornes inférieure et supérieure. Les bornes inférieure et supérieure représentent la fourchette de la vitesse du courant en écartant les données extrêmes qui sont considérées comme étant des données aberrantes (Upton et Cook 1996). Pour calculer cette fourchette, on calcule tout d'abord l'EI, qui est défini comme étant la différence entre le premier quartile (Q1, 25<sup>e</sup> percentile) et le troisième quartile (Q3, 75<sup>e</sup> percentile). La borne inférieure et la borne supérieure sont ensuite calculées en utilisant la formule suivante (Upton et Cook 1996) :

$$LF = Q1 - 1,5 * IQR$$

$$UF = Q3 + 1,5 * IQR$$

Pour évaluer la variabilité saisonnière des courants océaniques dans la région, on a effectué des analyses statistiques semblables en regroupant les stations par saison. Les saisons sont définies comme étant l'hiver (de janvier à mars), le printemps (d'avril à juin), l'été (de juillet à septembre) et l'automne (d'octobre à décembre), d'après les études de climatologie menées par Petrie et ses collaborateurs pour le Canada Atlantique (1996a et 1996b). Les données recueillies aux stations ayant fait l'objet de déploiements répétés et dont la collecte s'est étendue sur quelques mois ont également été regroupées par mois, et des statistiques mensuelles ont été calculées pour que l'on puisse évaluer la variabilité mensuelle.

### **Analyse de la vitesse du courant**

On a analysé des vecteurs du courant afin de produire de l'information statistique sur la vitesse et la direction du courant et, fournissant ainsi une information sur la circulation des eaux. Ces analyses ont été réalisées en calculant les courants moyens et maximaux, les premiers étant la moyenne du vecteur pour chaque série chronologique enregistrée par les ADCP et les deuxièmes représentant la vitesse maximale du courant et la direction associée, lesquels sont

---

enregistrés durant la période de mesure pour chaque profondeur de la surface jusqu'à la profondeur où est installé l'ADCP. Comme il est mentionné auparavant (dans la section portant sur les statistiques sommaires), les courants moyens et maximaux ont été calculés pour les deux couches distinctes de 0 à 20 m et de 20 m jusqu'au fond.

### **Analyse des marées**

La marée a été analysée avec les données de pression et de courant en se servant de la méthode analytique élaborée par Foreman et ses collaborateurs (2009). Cette méthode donne la possibilité d'analyser des données échantillonnées de façon irrégulière ou des données affichant des mesures manquantes. Elle nécessite que l'on incorpore des corrections de l'argument nodal et astronomique ainsi que des calculs d'inférence multiple dans une matrice surdéterminée qui est résolue en utilisant des techniques de décomposition de valeurs singulières (Golub et Van Loan 1983, Press *et al.* 1992). Comme l'outil ne permet pas le choix automatique des constituants de marées, on a sélectionné 13 constituants, à savoir Z0, Q1, O1, K1, MU2, N2, M2, S2, MK3, SK3, S4, 2SM6 et M8. En outre, P1 et K2 ont été inférés à partir de K1 et S2.

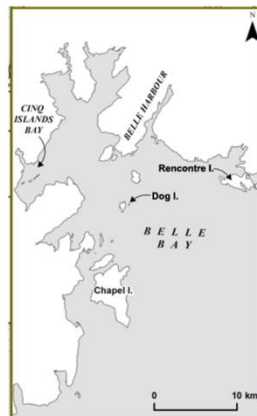
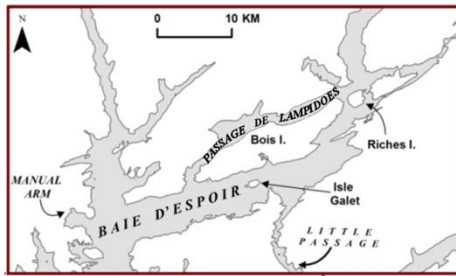
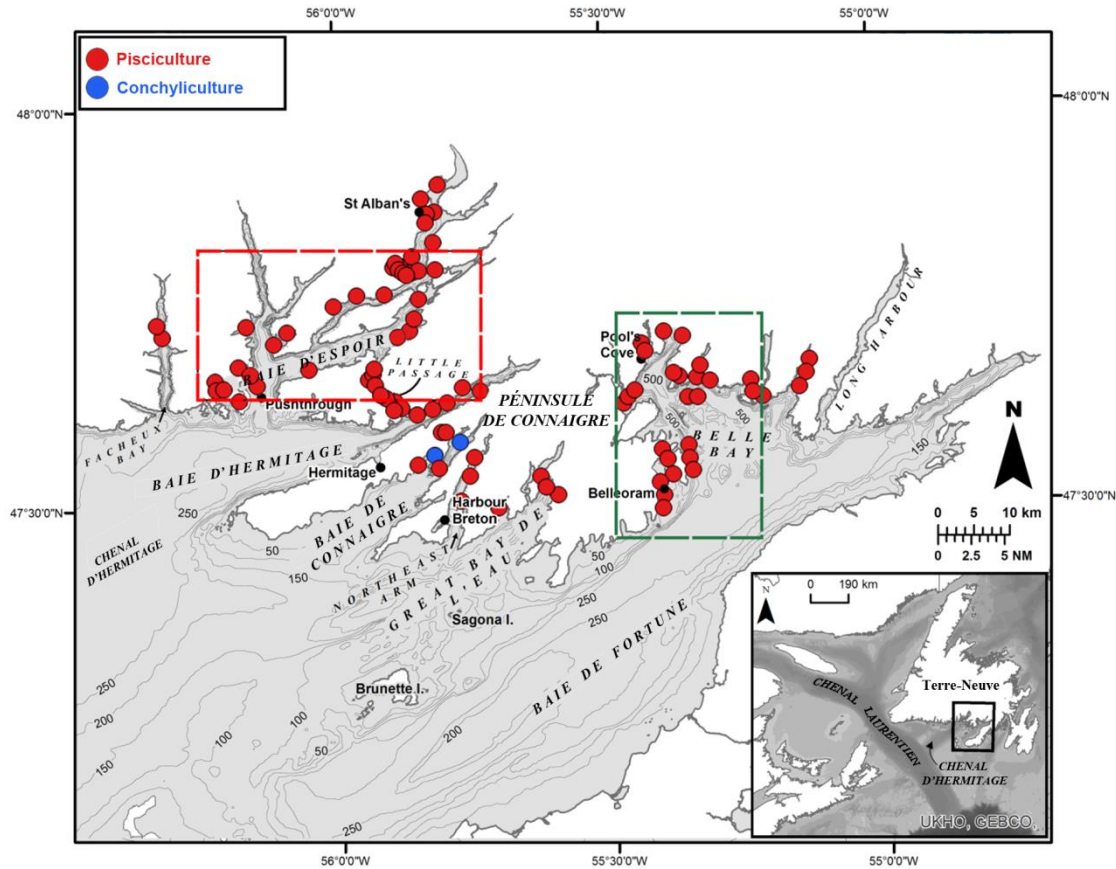


Figure 1. Zone d'étude de Coast of Bays montrant les différentes régions d'intérêt : Baie d'Hermitage, Baie d'Espoir, Belle Bay, Baie de Connaigre, port Breton, Northeast Arm et Great Bay de l'Eau. La figure illustre également l'emplacement des exploitations aquacoles détenant un permis (points rouges et bleus) dans la région de Coast of Bays (donnée de novembre 2015, source : Department of Fisheries and Aquaculture 2015) Une carte détaillée des régions particulières spécifiant les noms utilisés dans le présent document est insérée dans les panneaux du bas.

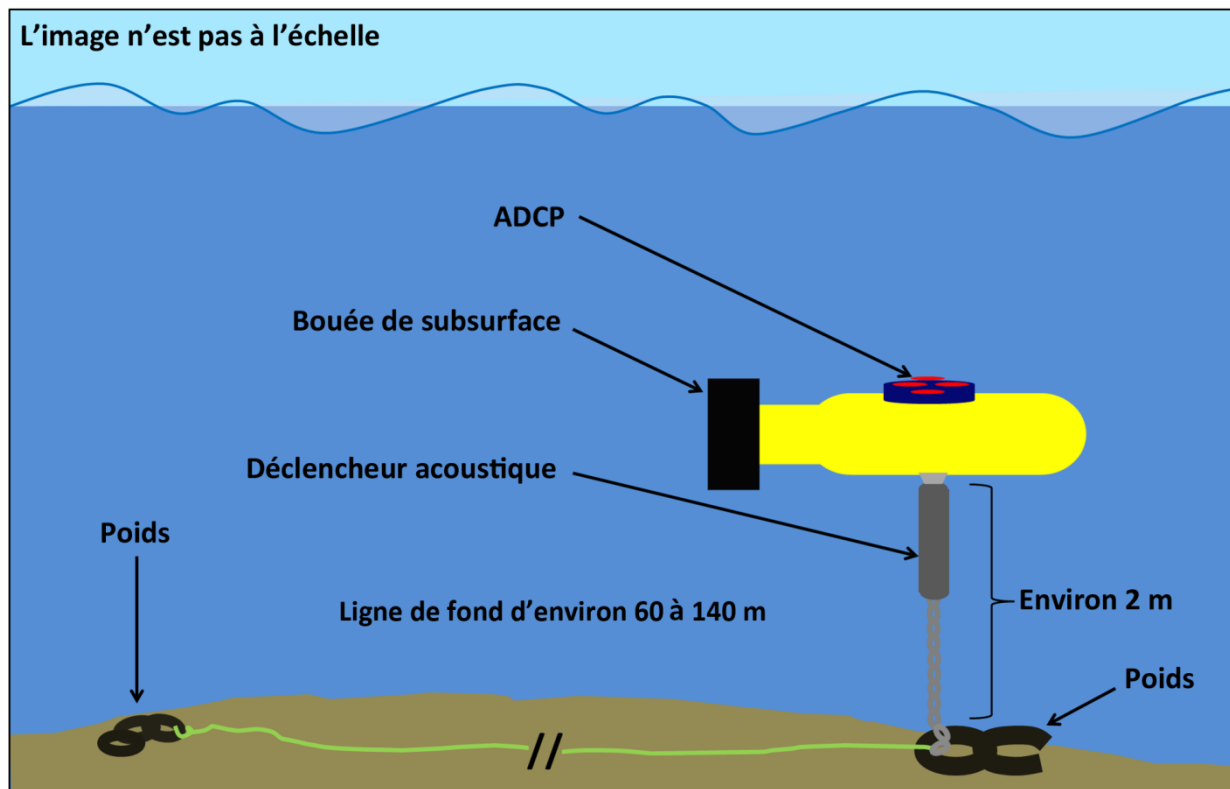


Figure 2. Configuration des amarrages d'ADCP.



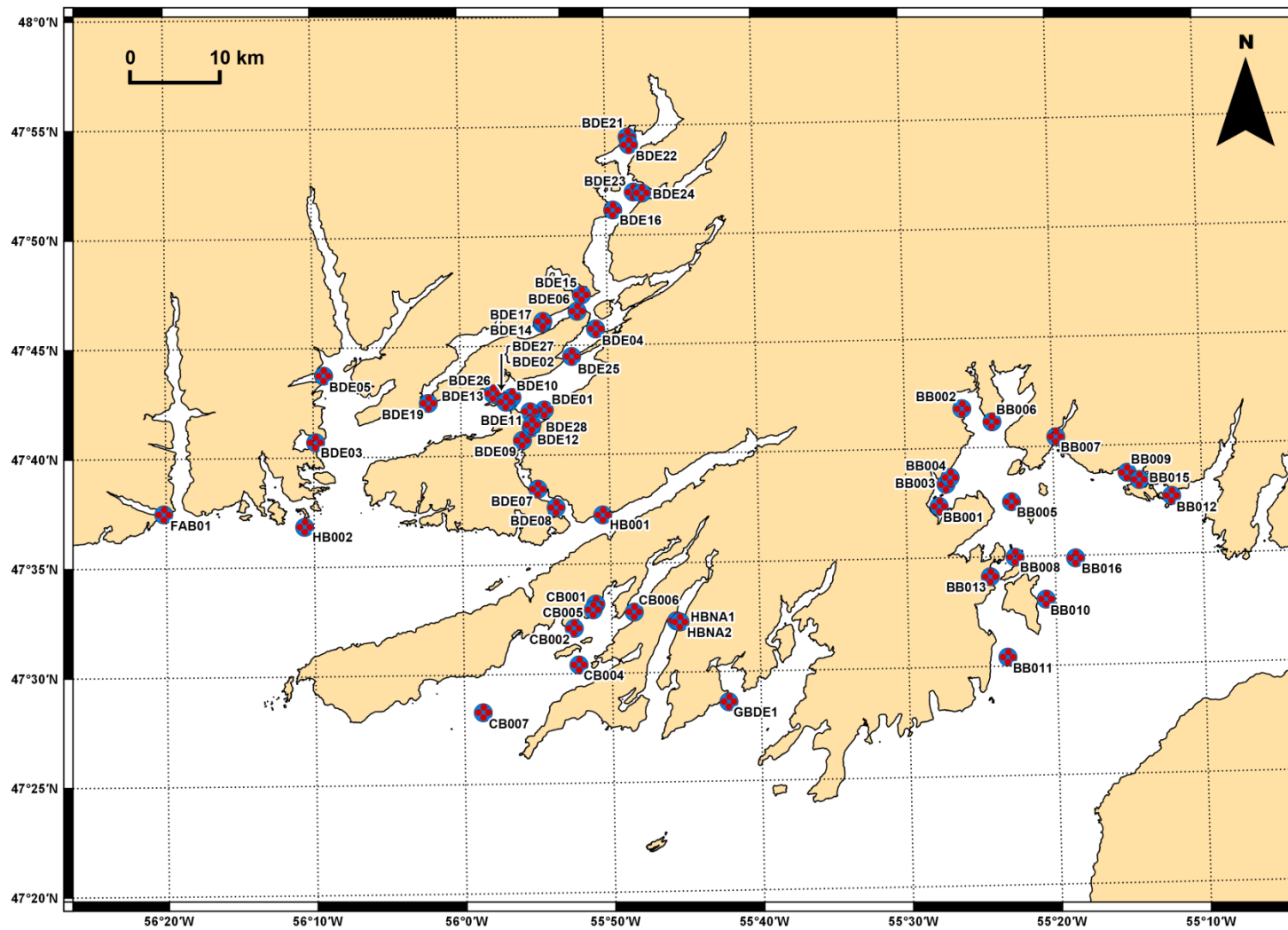


Figure 3. Stations d'ADCP dans la région de Coast of Bays.



## RÉSULTATS

### SÉRIES CHRONOLOGIQUES DES COURANTS DANS LA RÉGION DE COAST OF BAYS

La Figure 5 illustre un échantillon de série chronologique de la vitesse et de la direction du courant dans Belle Bay (station BB008 pour la période allant du 1<sup>er</sup> juillet 2011 au 16 juillet 2011). Les roses de courants pour la couche près de la surface (profondeur de 7,5 m) et celles de la couche près du fond (profondeur de 50,5 m) sont illustrées à la Figure 6. Il convient de noter qu'une vitesse plus élevée, au-dessus de 20 cm/s, était observée près de la surface entre le 4 et le 5 juillet et entre le 10 et le 13 juillet, ces périodes étaient associées au passage d'une tempête (Salcedo-Castro et Ratsimandresy 2013) et à la complexité de la structure verticale. Il convient aussi de noter le changement de la direction des courants dans la couche supérieure et la couche située juste en dessous. Dans la couche supérieure, au-dessus d'une profondeur d'environ 20 m, les courants affichaient généralement une direction dominante SSO-NEE, tandis que dans la couche plus profonde, la direction du courant affichait davantage de variabilité, avec des vitesses notablement inférieures à celles observées près de la surface (voir la Figure 6 pour une illustration de ce phénomène dans la couche près de la surface et dans la couche près du fond).

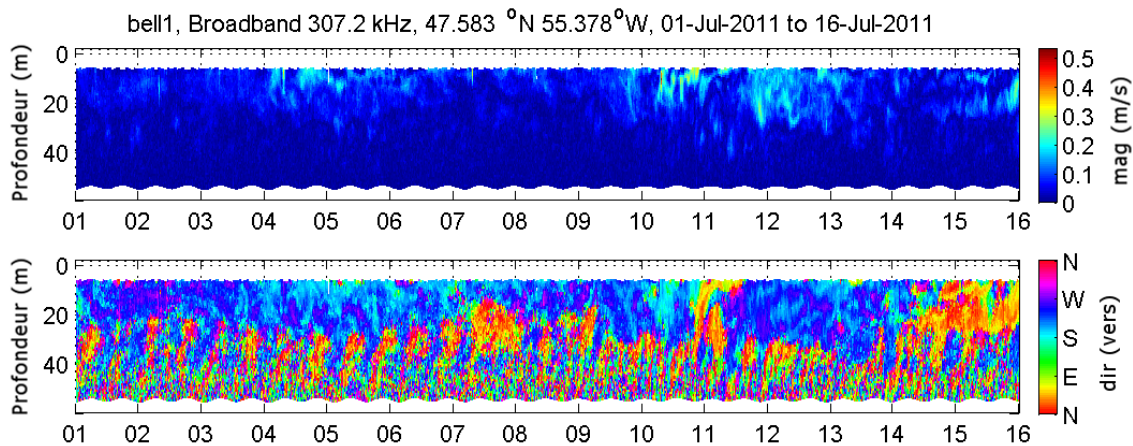


Figure 5. Séries chronologiques de 15 jours (1<sup>er</sup> juillet 2011 – 16 juillet 2011) de la vitesse du courant (panneau du haut) et de la direction du courant (panneau du bas) pour la station BB008 de Belle Bay.

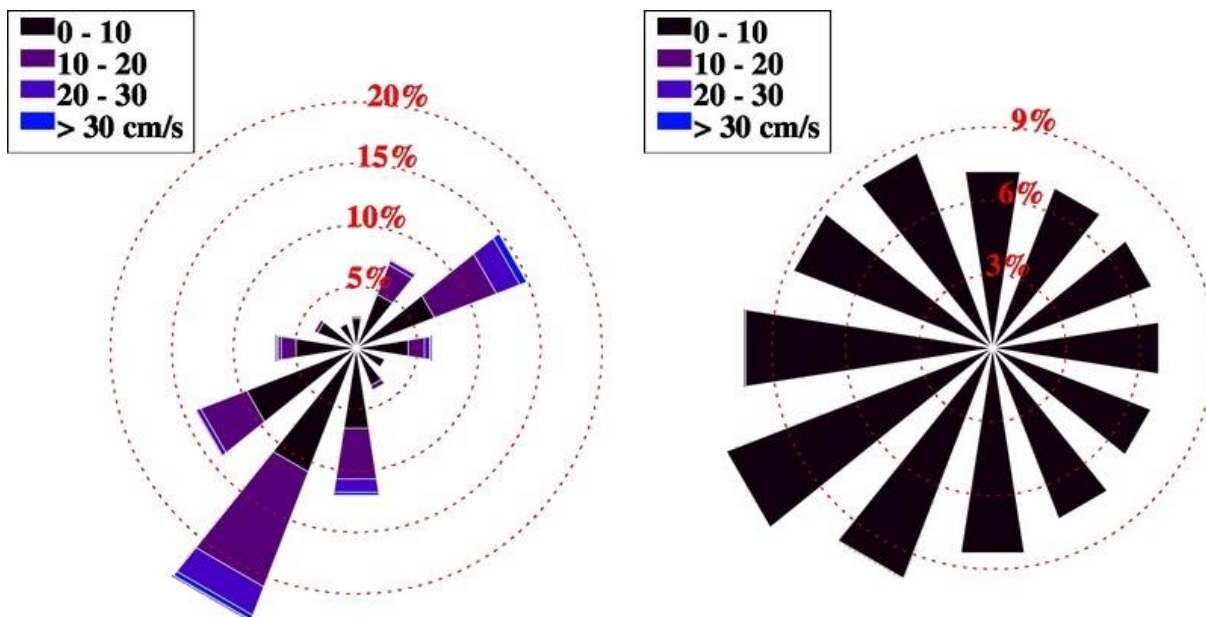


Figure 6. Roses de courant montrant la répartition de la vitesse et de la direction du courant à des profondeurs de 7,5 m (panneau de gauche) et de 50,5 m (panneau de droite) à la station BB008 correspondant à l'ensemble de la période de mesure (du 8 mai 2011 au 24 octobre 2011). Chaque segment illustre la direction vers laquelle le courant se déplace.

## ANALYSE DE LA VITESSE DU COURANT

### Vitesse médiane du courant

La Figure 7 et la Figure 8 illustrent la vitesse du courant médiane dans la région de Coast of Bays pour les couches situées au-dessus de 20 m (couche supérieure) et en deçà de 20 m (couche inférieure) de profondeur, respectivement. La vitesse du courant médiane dans la couche supérieure pour l'ensemble de la région de Coast of Bays varie entre 2 et 13 cm/s. Pour ce qui est de la couche inférieure, la fourchette de la vitesse médiane va de 1,5 à 13,5 cm/s, cette couche affichant généralement une vitesse plus lente que celle de la couche située au-dessus de 20 m : la vitesse médiane dans la couche supérieure est au moins 1,3 fois plus importante que la vitesse médiane dans la couche inférieure dans 75 % des cas. Les différences entre les emplacements au sein de la même baie sont décrites ci-après.

#### Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir

Dans la couche supérieure, la vitesse médiane varie entre 3 et 13 cm/s, 22 stations sur 23 affichant une vitesse médiane inférieure à 11 cm/s. Les stations où sont enregistrées les vitesses médianes la plus faible (BDE07) et la plus élevée (BDE09) se trouvaient toutes deux dans Little Passage. La station BDE07 se trouve dans une anse située à l'intérieur du passage et est probablement très bien abritée de l'écoulement principal du courant. Dans la Baie d'Espoir, le patron géographique présente les caractéristiques suivantes : les stations qui se trouvent dans la partie inférieure de la baie, y compris celles qui se trouvent dans Little Passage, ont tendance à afficher des valeurs plus élevées (au-dessus de 7 cm/s), tandis que les stations qui se trouvent au fond et près de l'embouchure de la baie affichaient généralement des valeurs inférieures (en dessous de 6 cm/s).

Dans la couche inférieure, la fourchette des valeurs médianes allait de 2 à 13 cm/s, les valeurs les plus faibles étant observées à la station située au fond de la Baie d'Espoir (BDE22) et les

---

valeurs les plus élevées, à l'embouchure sud du Passage de Lampidoes (BDE19). À la plupart des stations (20 sur 26), la vitesse médiane était inférieure à 5 cm/s dans la couche inférieure. Le reste des stations (6 sur 26), qui affichaient des valeurs de plus de 5 cm/s, se trouvaient dans la partie inférieure de la Baie d'Espoir et dans Little Passage.

Lorsqu'on comparait les deux couches, on observait que les valeurs de la vitesse médiane dans la couche supérieure étaient généralement de 1 à 6 cm/s au-dessus des valeurs enregistrées dans la couche inférieure, sauf à la station BDE19. À cette station, la couche supérieure affichait une vitesse médiane de 4 cm/s en dessous de la vitesse mesurée dans la couche inférieure.

### **Belle Bay**

Dans la couche supérieure, la vitesse du courant médiane varie entre 2 et 10 cm/s, 8 stations sur 9 affichant une vitesse médiane inférieure à 10 cm/s. La valeur la plus faible était observée à l'extrémité nord-ouest de Belle Bay (BB001), et la valeur la plus élevée était enregistrée à une station située au milieu de Belle Bay (BB016). Par comparaison avec les stations où était enregistrée la vitesse médiane inférieure, les stations affichant une vitesse médiane plus élevée (au-dessus de 5 cm/s) tendaient à se trouver à des emplacements directement exposés aux eaux libres de Belle Bay (BB008, BB012 et BB016).

Dans la couche inférieure, la fourchette des valeurs du courant médianes allait de 2 à 6 cm/s, la valeur la plus faible étant observée à la station BB015, sur le côté est de Belle Bay, et la valeur la plus élevée, à la station BB016, au milieu de Belle Bay. Les valeurs les plus élevées (au-dessus de 4 cm/s) étaient enregistrées aux deux stations qui se trouvent au milieu de Belle Bay (BB005 et BB016).

Lorsqu'on comparait les deux couches, on observait que les vitesses du courant médianes dans la couche supérieure étaient généralement supérieures aux valeurs enregistrées dans la couche inférieure, la différence pouvant atteindre jusqu'à 5 cm/s.

### **Péninsule de Connaigre**

Dans la couche supérieure de la Péninsule de Connaigre, la fourchette de la vitesse du courant médiane va de 3 à 7 cm/s, deux stations (CB004 et GBDE1) affichant des valeurs supérieures à 6 cm/s et le reste des stations (5), des valeurs inférieures à 6 cm/s. Les deux stations affichant des vitesses médianes supérieures se trouvent dans la zone la plus exposée aux eaux libres.

Dans la couche inférieure, la fourchette des valeurs va de 2 à 5 cm/s. Deux stations situées dans la Baie de Connaigre affichaient des valeurs supérieures (au-dessus d'environ 5 cm/s) (CB004 et CB007) et se trouvaient du côté des eaux libres, et le reste des stations (7) affichaient des valeurs inférieures à 4 cm/s.

Lorsqu'on comparait les deux couches, on observait que les valeurs observées dans la couche supérieure étaient supérieures aux valeurs enregistrées dans la couche inférieure, avec une différence de 1 à 2 cm/s.

### **Vitesse maximale du courant enregistré**

La Figure 9 et la Figure 10 présentent la vitesse du courant maximale enregistrée à chaque station dans la couche supérieure et dans la couche inférieure, respectivement.

Dans la couche supérieure, la vitesse du courant maximale la plus élevée (90 cm/s) était enregistrée à la station BDE19, à l'embouchure sud-ouest du Passage de Lampidoes, et la vitesse maximale la plus faible était enregistrée à la station BB013 (environ 22 cm/s), qui se trouve au nord-ouest de Chapel Island.

---

Dans la couche inférieure, la vitesse du courant maximale la plus élevée s'établissait à 90 cm/s, une valeur également enregistrée à la station BDE19, dans la Baie d'Espoir. Dans cette couche, la vitesse du courant maximale la plus faible (environ 14 cm/s) était enregistrée à la station BB001, qui se trouve dans une anse abritée de Belle Bay.

La comparaison entre la vitesse maximale enregistrée dans la couche supérieure et celle enregistrée dans la couche inférieure (annexe 3) montre que 89 % des stations, pour lesquelles on dispose de données pour les deux couches, affichaient des vitesses du courant plus élevées dans la couche supérieure que dans la couche inférieure (avec des différences s'échelonnant entre 4 et 40 cm/s). Aux autres stations (11 %), les vitesses du courant maximales présentaient une fourchette semblable (avec des différences de moins de 4 cm/s entre les deux couches). Aucun patron géographique n'était observé pour les emplacements de ces stations.

### **Éventail de vitesses du courant**

Les Figures 11, 12, 13, 14, 15 et 16 résument le centre et l'éventail de vitesses du courant dans la couche supérieure et dans la couche inférieure pour la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, Belle Bay et la Péninsule de Connaigre, respectivement. Aucune statistique n'a été calculée pour la couche supérieure de la station HBNA2, dans la Péninsule de Connaigre, car on ne disposait de données que pour les profondeurs entre 19 et 20 m, tandis qu'on a calculé les statistiques pour la couche supérieure de la station BDE05, dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, avec des données des profondeurs entre 15 et 20 m. Les figures montrent que les stations affichant une vitesse du courant médiane faible (élevée) présentaient également un EI et des valeurs pour la borne supérieure faibles (élevés).

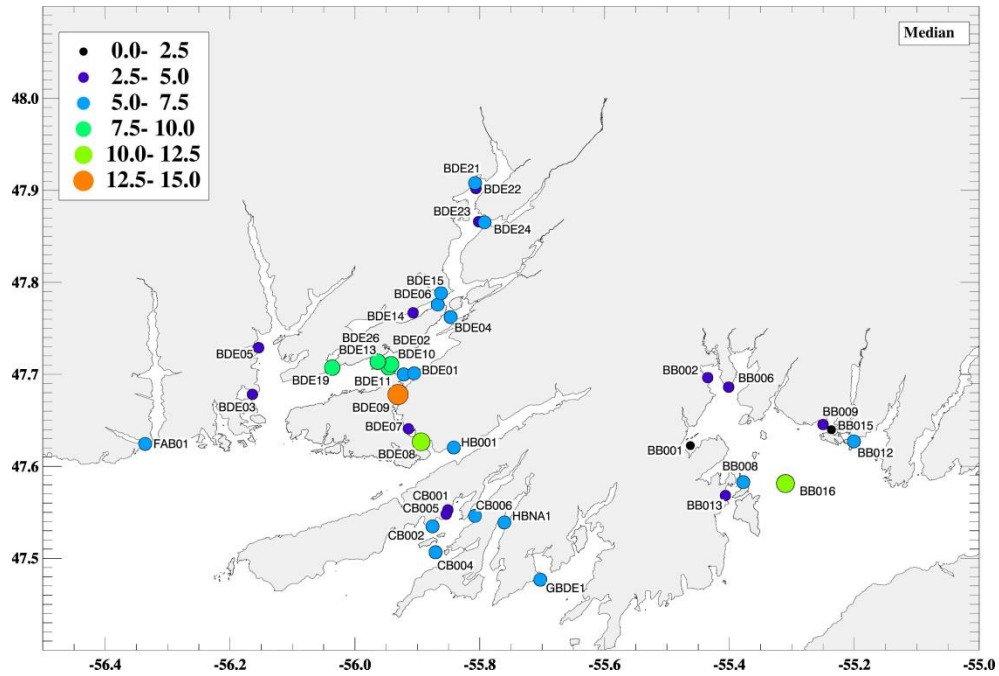


Figure 7. Vitesse médiane du courant (cm/s) dans la couche supérieure pour la région de Coast of Bays.

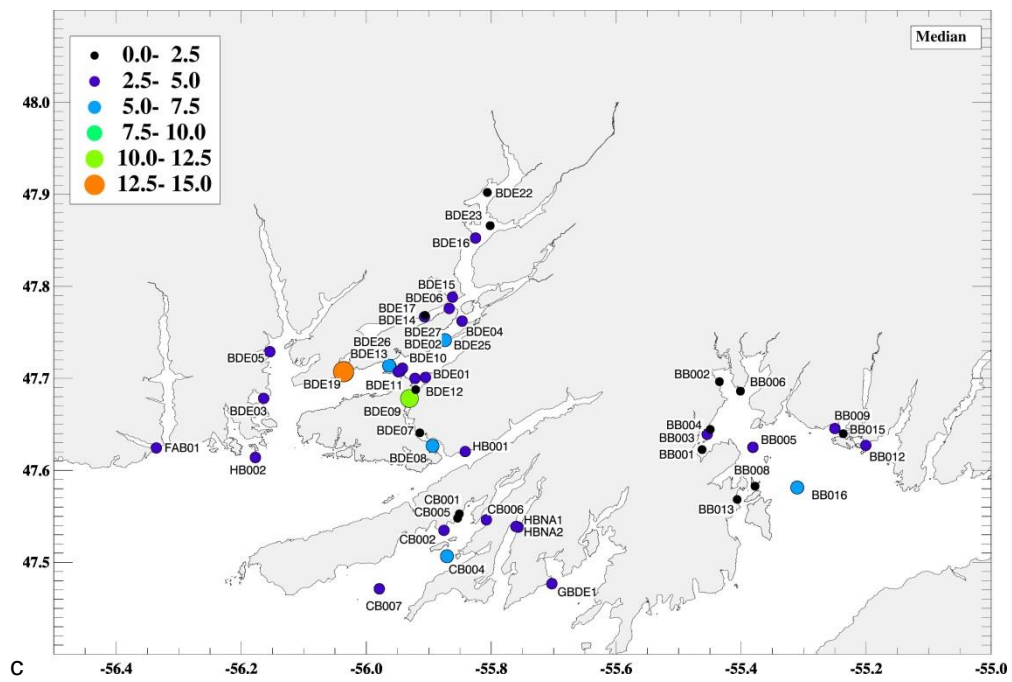


Figure 8. Vitesse médiane du courant (cm/s) dans la couche inférieure pour la région de Coast of Bays.

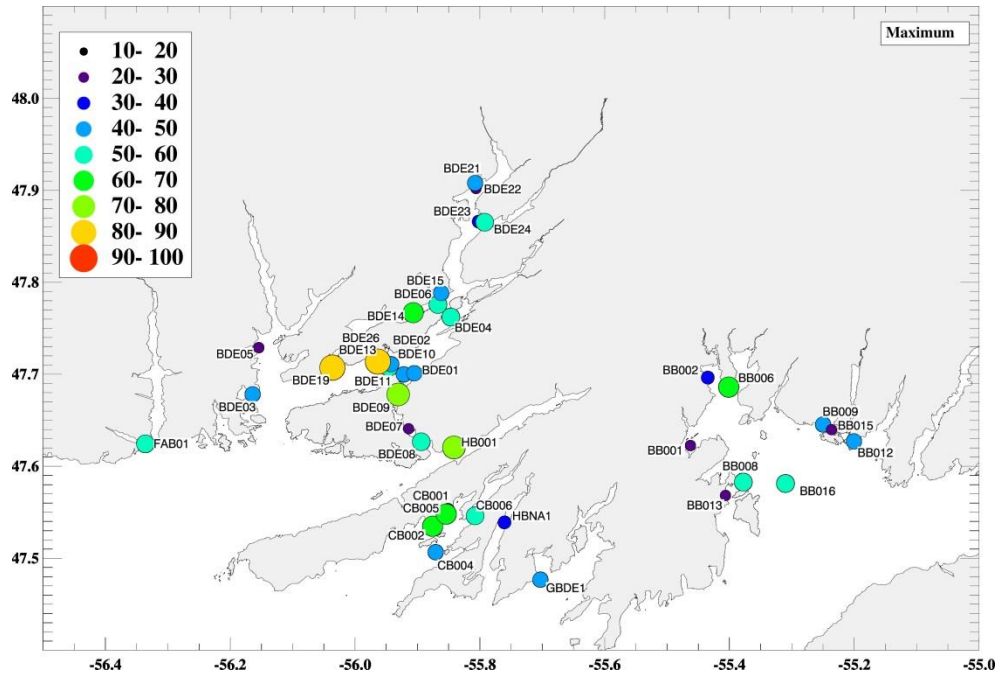


Figure 9. vitesse maximale du courant (cm/s) enregistrée dans la couche supérieure

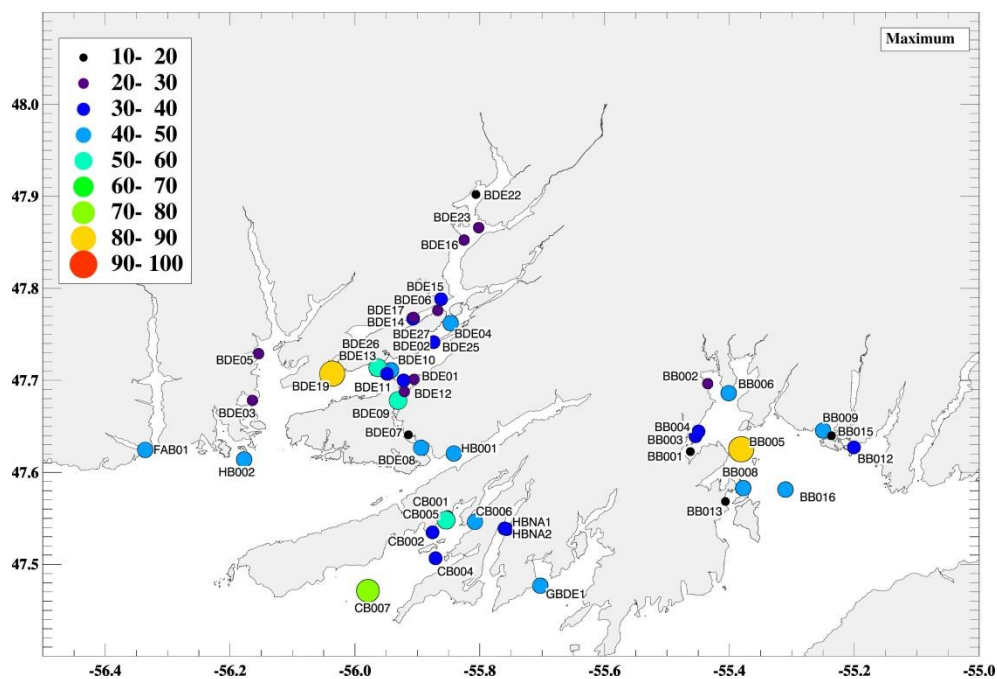


Figure 10. Vitesse maximale du courant (cm/s) enregistrée dans la couche inférieure.

Pour chaque région, la comparaison entre les deux couches montre que les valeurs de la vitesse médiane, celles de l'EI et celles de la borne supérieure sont plus élevées dans la couche supérieure que dans la couche inférieure, sauf à une station de la Baie d'Espoir (BDE19).



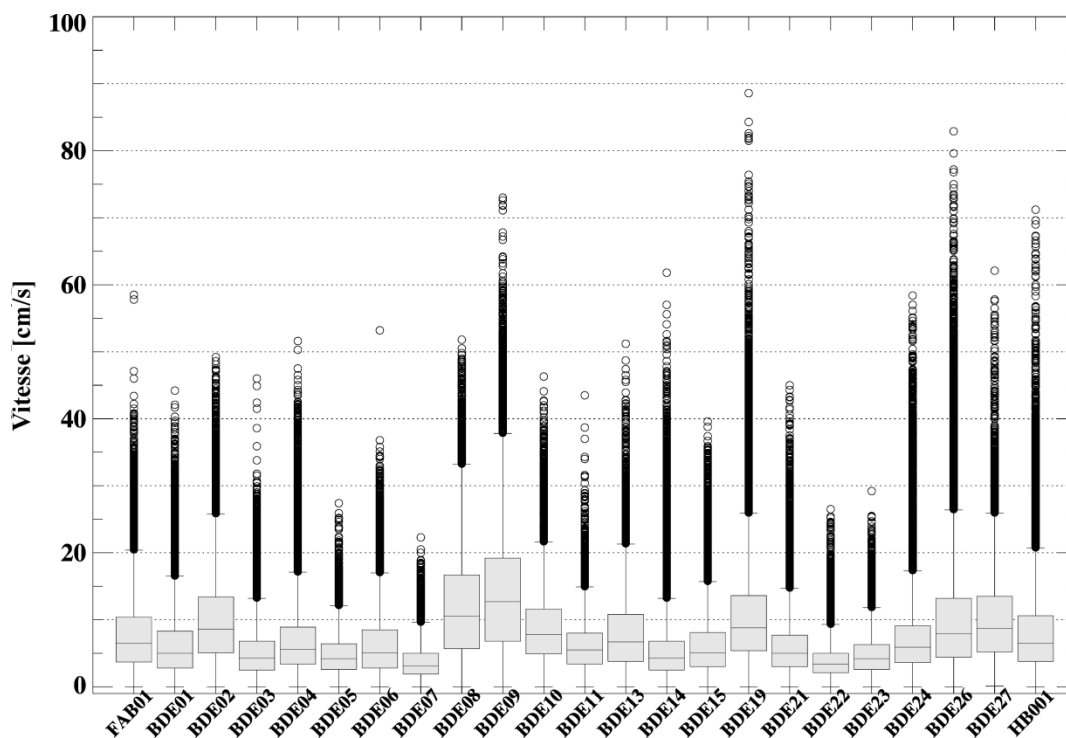


Figure 11. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir. Le diagramme présente des informations de vitesse médiane et d'écart interquartile des données, les vitesses du courant supérieures à la borne supérieure (valeurs supérieures à  $1,5 \times EI$  à partir du troisième quartile) étant représentées par des cercles ouverts.

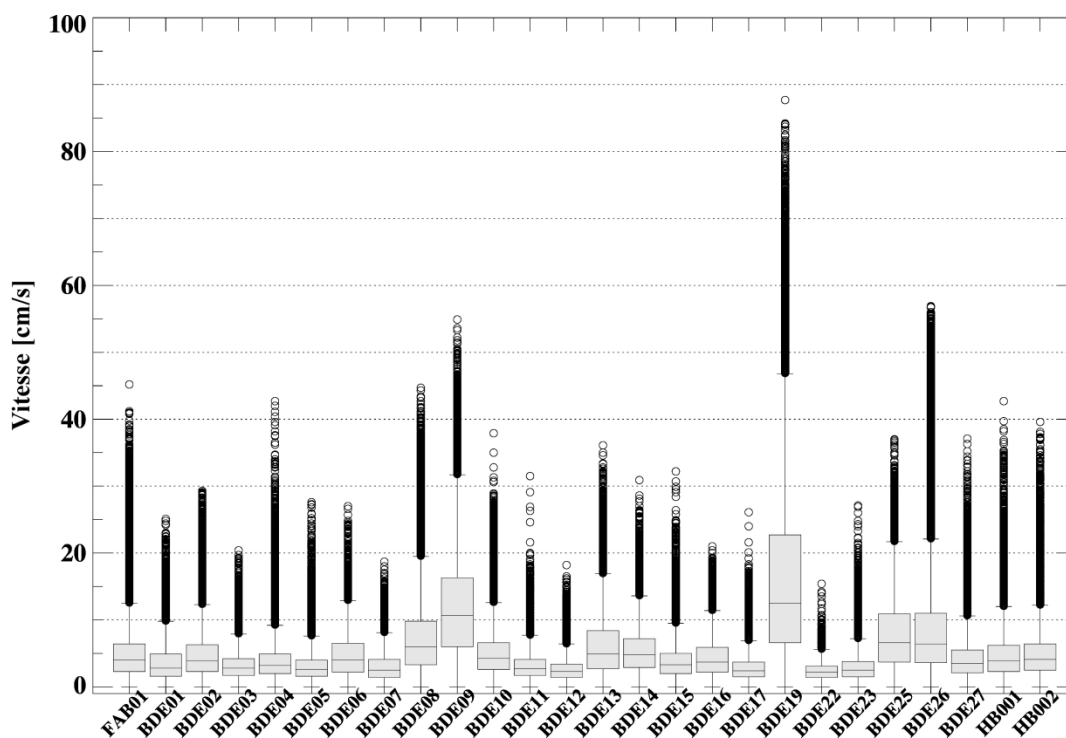


Figure 12. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir (analogue à la Figure 11).

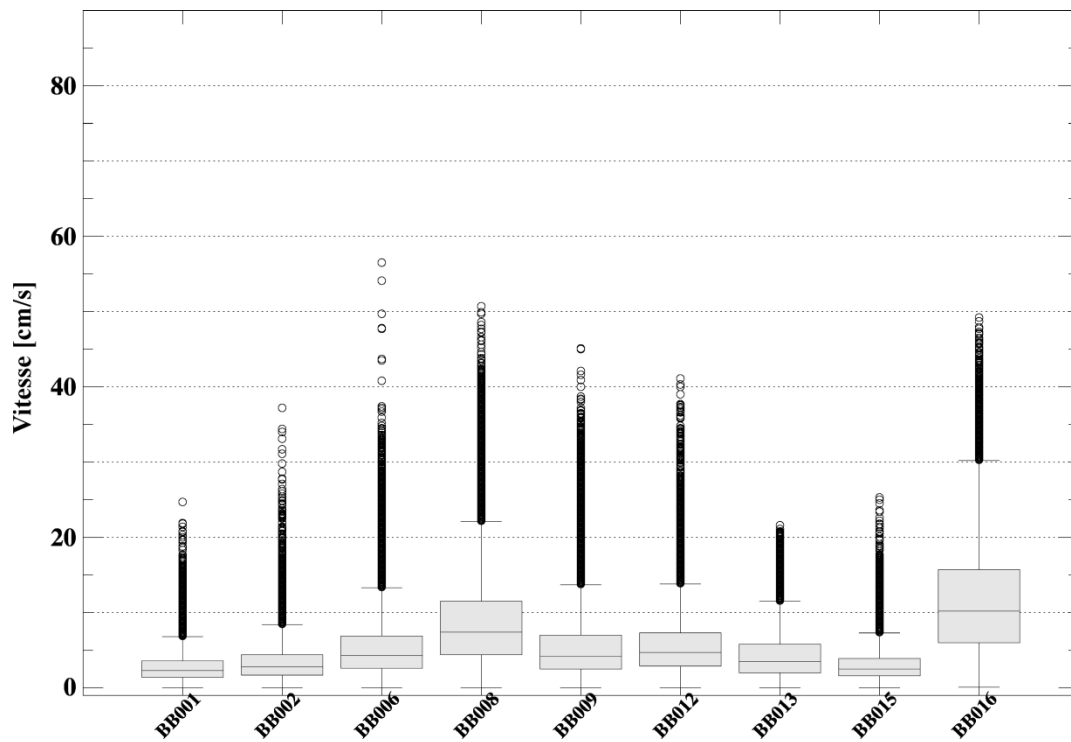


Figure 13. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies dans Belle Bay (analogue à la Figure 11).

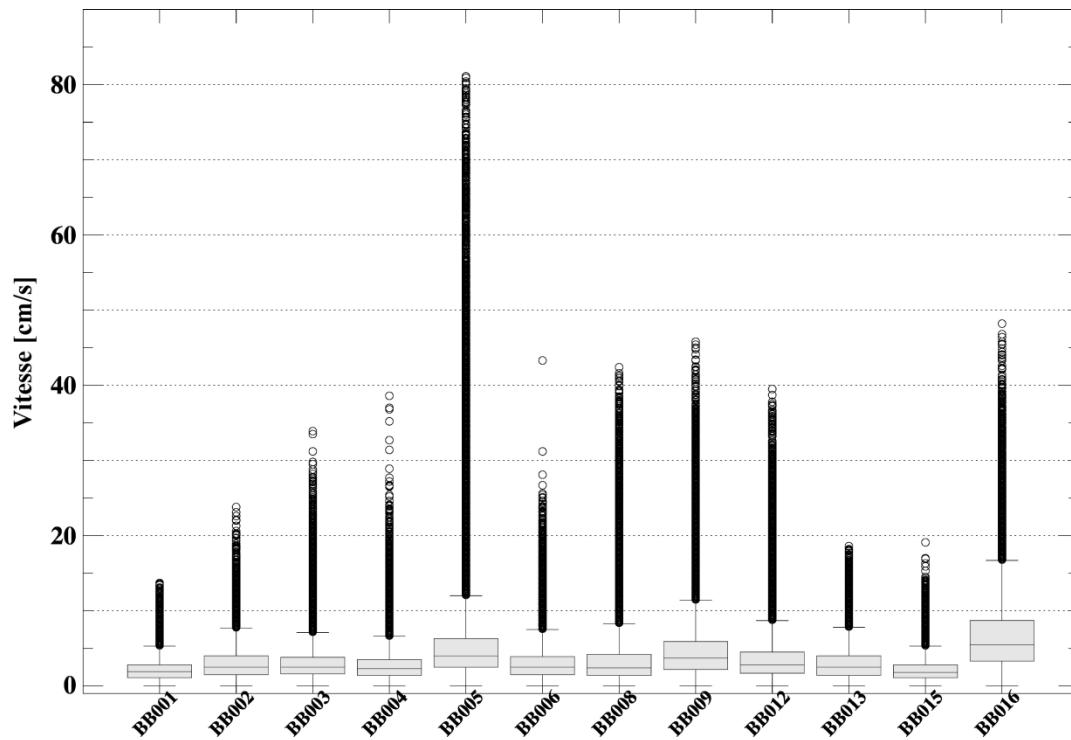


Figure 14. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies dans Belle Bay (analogue à la Figure 11).

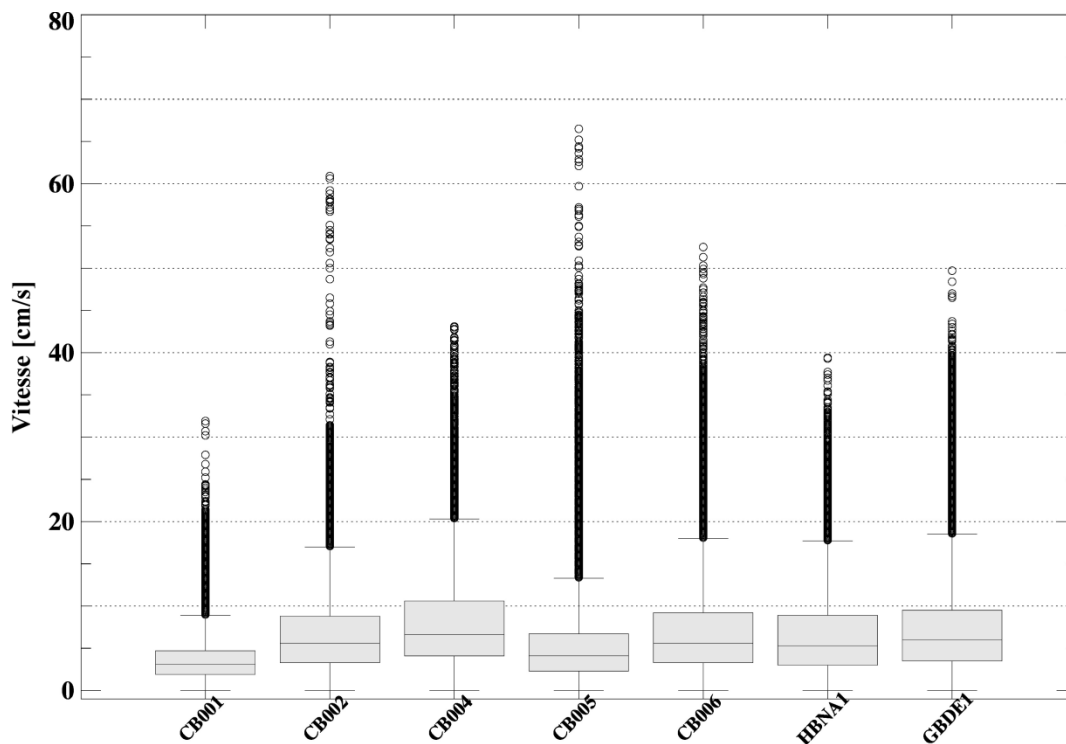


Figure 15. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche supérieure (au-dessus de 20 m) pour les données recueillies à la Péninsule de Connaigre (analogue à la Figure 11).

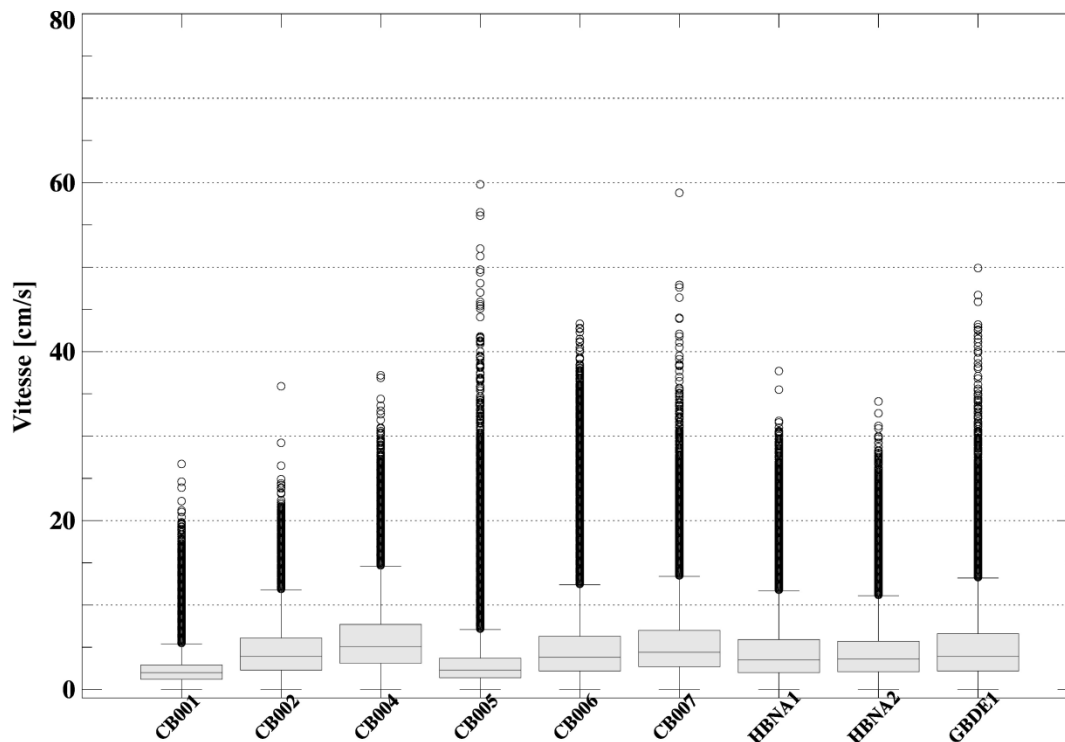


Figure 16. Diagramme de quartiles de la vitesse du courant dans la couche inférieure (en deçà de 20 m) pour les données recueillies à la Péninsule de Connaigre (analogue à la Figure 11).

---

## Variabilité temporelle

Des cartes montrant la vitesse du courant médiane dans la couche supérieure et pour différentes saisons sont présentées (Figure 17). Il convient de noter qu'il n'y a pas de carte pour la saison hivernale, car seul un petit nombre de stations ont été visitées en hiver. Malgré le fait que les stations n'ont pas toujours été revisitées à plusieurs reprises, on peut observer une hausse des courants médians en automne, comme le montrent les stations dans Little Passage (Baie d'Espoir) et celles qui sont du côté ouest de Belle Bay. Comme pour les courants maximaux enregistrés (Figure 18), la plupart des stations affichaient une vitesse du courant maximale dans la couche supérieure plus forte que 40 cm/s sans qu'on puisse déceler un patron saisonnier ou spatial particulier. Cette absence de patron peut être attribuée au fait que des courants forts, qui sont généralement associés à des événements atmosphériques violents (Salcedo-Castro et Ratsimandresy 2013), peuvent être observés en toute saison de l'année, car l'ensemble de la région est propice à des vents violents tout au long de l'année (Donnet *et al.* 2018a). Dans la couche inférieure, on observe également une certaine élévation de la vitesse du courant médiane (Figure 19) en automne. Une vitesse du courant maximale supérieure à 40 cm/s a également été enregistrée à différentes stations pendant différentes saisons. On peut observer une vitesse du courant maximale légèrement plus élevée durant l'automne dans Belle Bay et à des emplacements sur le seuil dans Little Passage (bas de Baie d'Espoir, Figure 20).

Un petit nombre de stations ont été revisitées à plusieurs reprises durant une période de plus de quatre mois (annexes 1 et 2). Les données de vitesses du courant recueillies à ces stations ont été utilisées pour étudier la variabilité mensuelle. Les données ont été regroupées sur une base mensuelle, et on en a évalué la variabilité mensuelle. La Figure 21 montre un exemple de statistiques mensuelles de la vitesse du courant dans la couche supérieure pour des stations se trouvant dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir (BDE19), dans Belle Bay (BB008) et à la Péninsule de Connaigre (CB006). La figure montre la variation mensuelle de la vitesse du courant médiane, des vitesses inférieures étant enregistrées à la fin du printemps et en été, et des vitesses supérieures étant observées en automne. La différence entre les vitesses médianes la plus faible et celle la plus élevée calculée mensuellement est de 45, 47 et 53 % pour BDE19, BB008 et CB006, respectivement. La vitesse du courant maximale affiche la variation la plus élevée au fil des mois, une vitesse maximale plus élevée étant généralement observée en été ou en automne, et une vitesse maximale plus faible étant observée en hiver ou au début du printemps (une variation entre les valeurs la plus faible et la plus élevée de 116, 78 et 118 % pour BDE19, BB008 et CB006, respectivement).

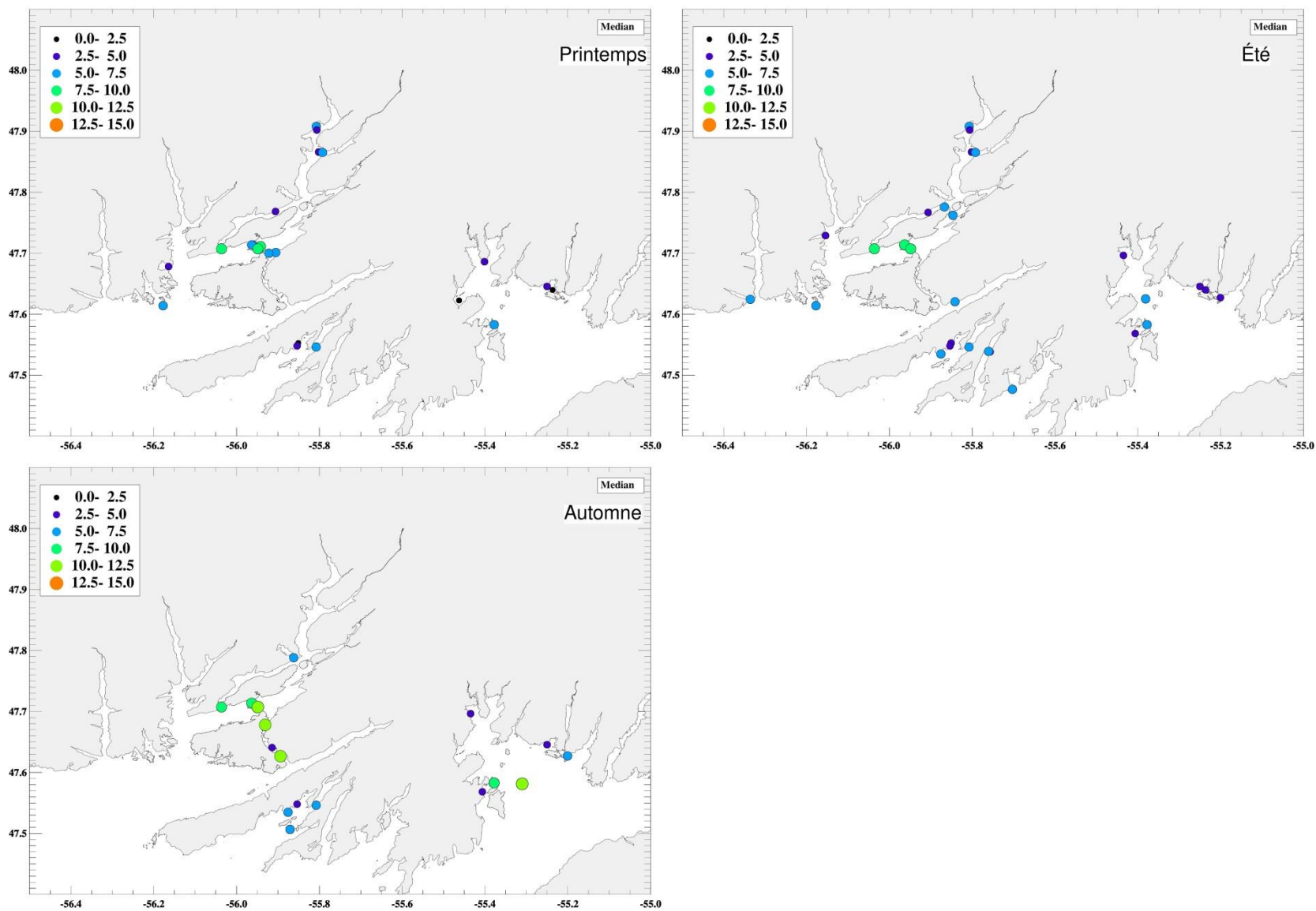


Figure 17. Variabilité saisonnière des courants médians (cm/s) dans la couche supérieure pour le printemps, l'été et l'automne.

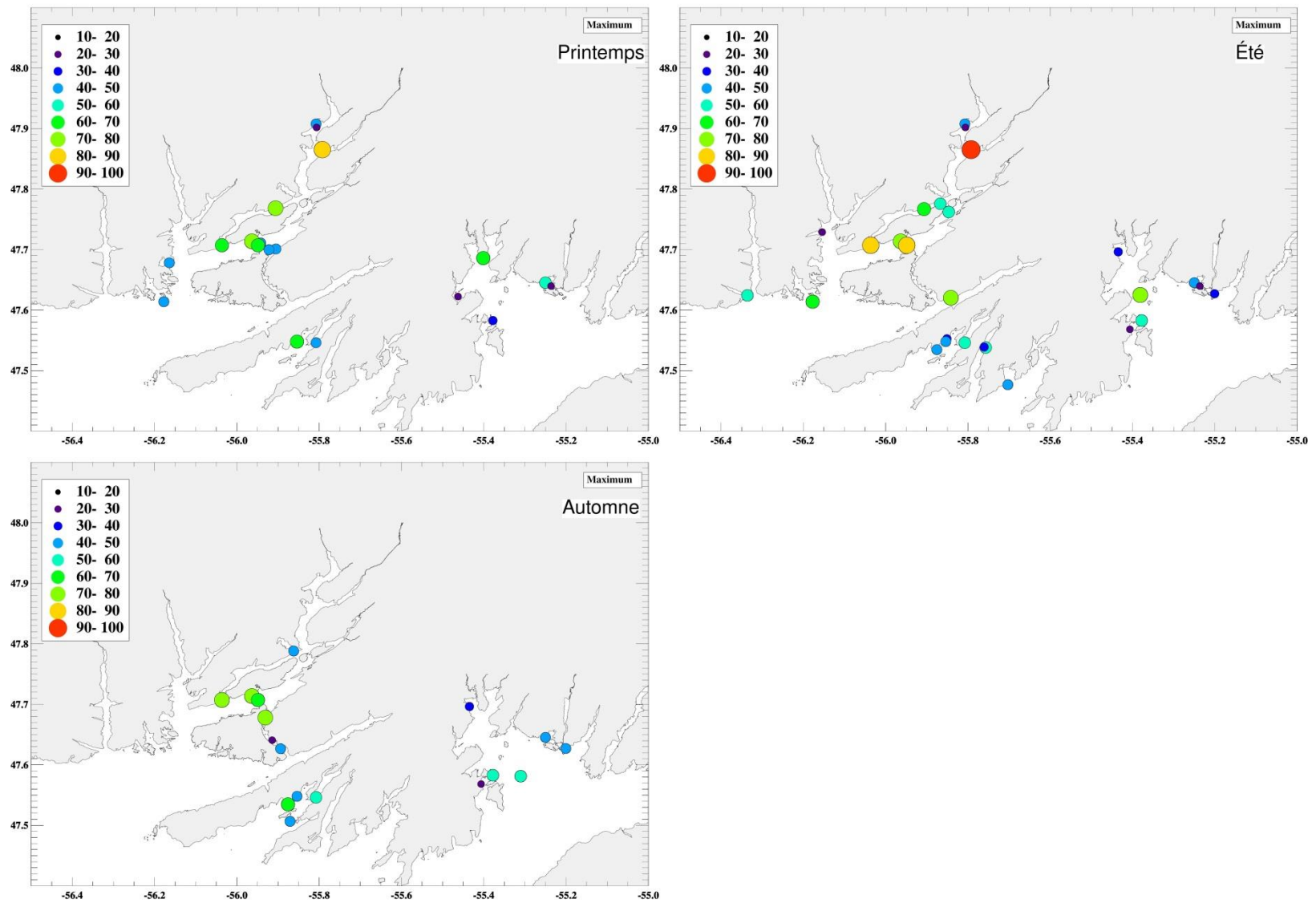


Figure 18. Variabilité saisonnière de la vitesse du courant maximale (cm/s) dans la couche supérieure pour le printemps, l'été et l'automne.

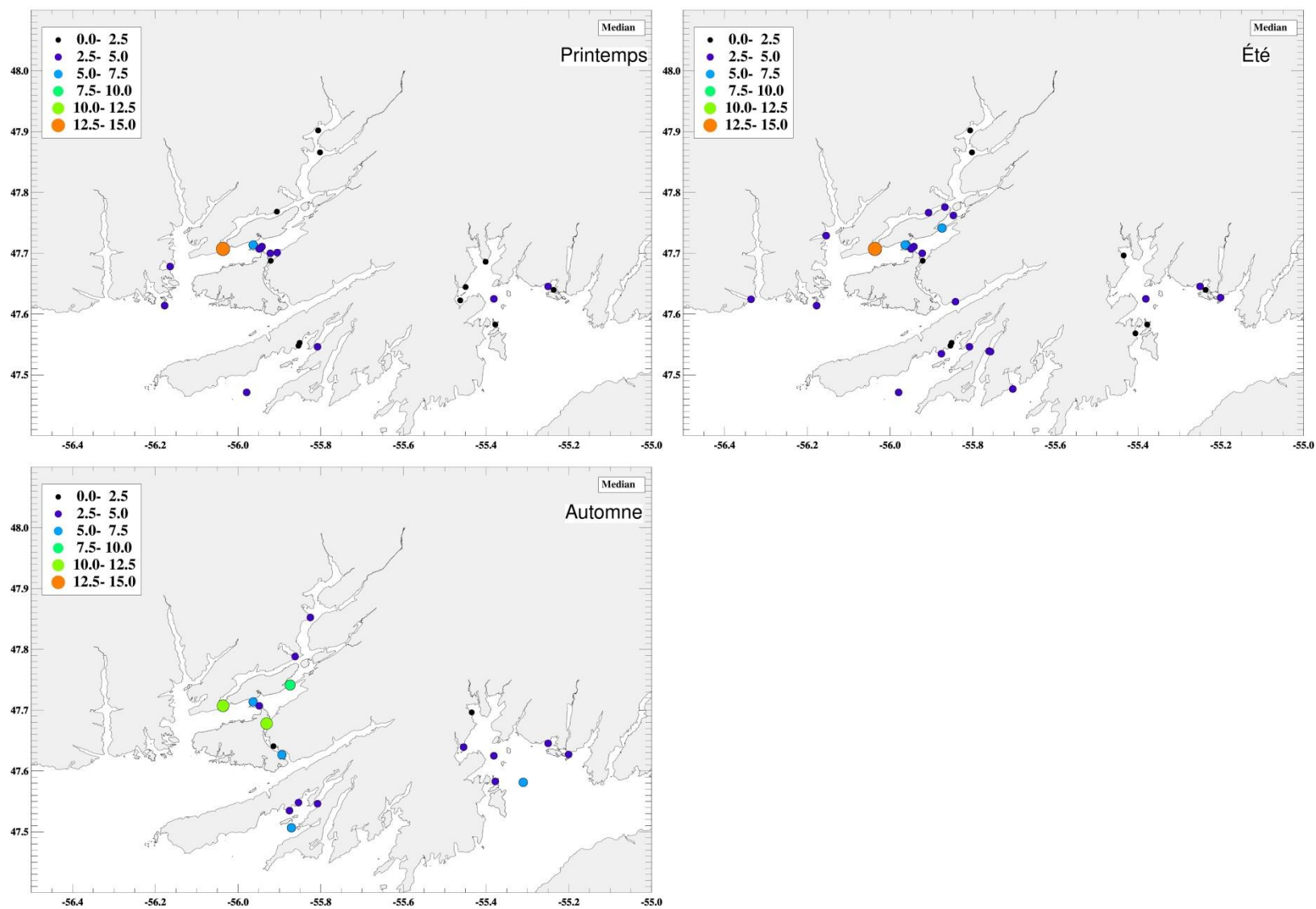


Figure 19. Variabilité saisonnière des courants médians (cm/s) dans la couche inférieure pour le printemps, l'été et l'automne.

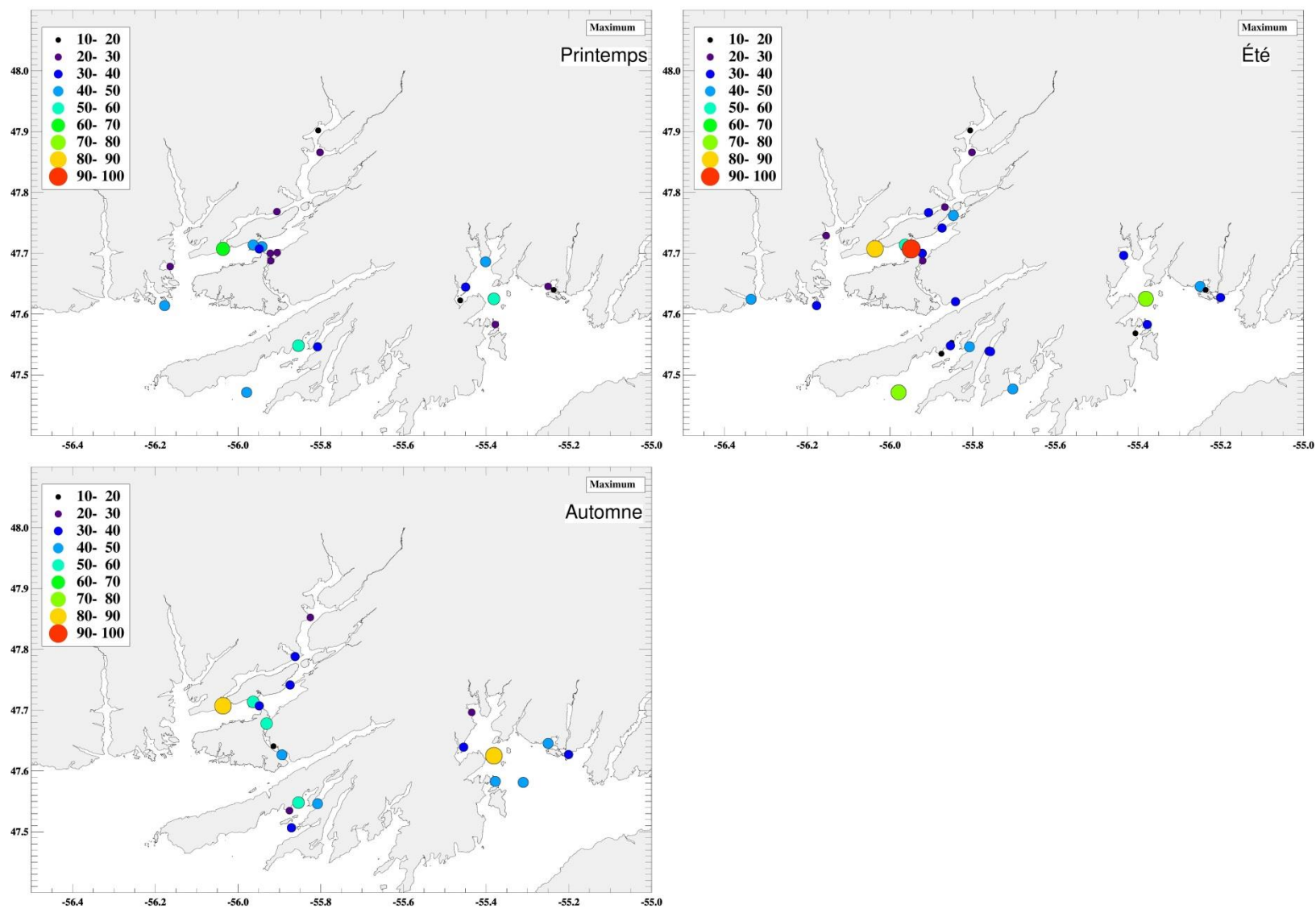


Figure 20. Variabilité saisonnière de la vitesse du courant maximale (cm/s) dans la couche inférieure pour le printemps, l'été et l'automne.



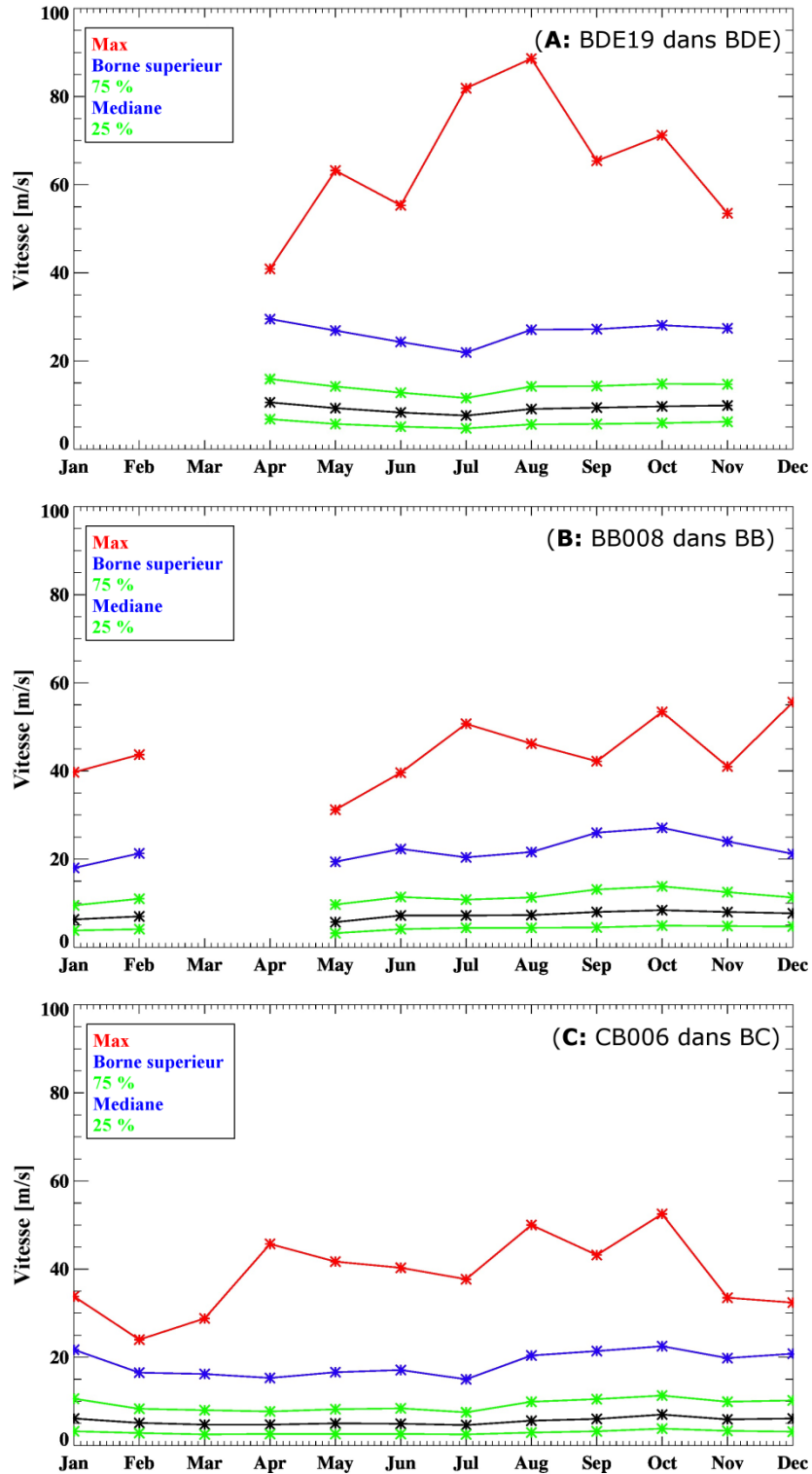


Figure 21. Exemple de variabilité mensuelle de la vitesse du courant dans la couche supérieure pour les stations (A) BDE19 dans la Baie d'Espoir, (B) BB008 dans Belle Bay et (C) CB006 dans la Baie de Connaigre. 25 %, médiane et 75 % représentent les 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> percentiles, la borne supérieure est la valeur décrite dans la méthodologie sur les statistiques sommaires et Max est la vitesse du courant maximale enregistrée.

---

## ANALYSE DE LA VÉLOCITÉ DU COURANT

L'ensemble de figures qui suit (Figure 22 à Figure 27) illustre les courants moyen et maximal à chaque station. Contrairement à l'analyse précédente, où les calculs ont été faits sur une fourchette de profondeurs (une pour la couche supérieure et une pour la couche inférieure) et en raison de changements rapides de la direction du courant qui se produisent dans la colonne d'eau à bon nombre de stations, le courant moyen est calculé pour chaque profondeur disponible. La description des principaux points clés pour chaque région est présentée ci-après.

### Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir

La Figure 22 montre les courants moyens dans la couche supérieure et dans la couche inférieure pour la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, la couleur des vecteurs représentant des profondeurs différentes. L'intensité de la vitesse du courant moyenne s'établit à environ la moitié de la vitesse médiane calculée au cours de l'analyse précédente, ce qui est une indication de changements temporels de la direction des courants. La circulation est complexe, tel que décrit ci-après pour les mesures prises à partir de l'embouchure de la Baie d'Espoir vers le fond de la baie (voir la Figure 1 pour les noms de l'île et du passage).

- Dans la partie inférieure de la Baie d'Espoir, le profil général indique que la circulation se fait vers l'extérieur de la baie.
- Cependant, les mesures prises à Little Passage montrent généralement que les courants moyens entrent dans la baie à une profondeur inférieure à 5 m, sauf à la station BDE07, où la direction des courants moyens, à une profondeur inférieure à environ 10 m, est vers l'extérieur de la baie.
- Les courants moyens observés aux stations qui se trouvent près du fond de la baie tendent à être plus faibles et affichent des directions opposées entre les couches de surface (supérieures à environ 5 à 10 m) et les couches sous-jacentes. Cette circulation, avec des directions moyennes opposées à différentes profondeurs, pourrait être le résultat d'une circulation estuarienne complexe, possiblement affectée par des vents dominants variables et par la présence de remous.
- Les courants moyens à l'embouchure sud-ouest du Passage de Lampidoes se dirigent vers l'extérieur de la baie dans la partie supérieure de la couche inférieure et tournent lentement dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à mesure qu'on descend vers le fond de la mer.
- À la partie sud de Little Passage, l'ensemble de la couche inférieure affiche des courants moyens qui entrent dans la baie, sauf à la station BDE07.
- Dans la couche inférieure, les courants moyens tendent à être inférieurs à mesure qu'on s'approche du fond de la baie.

En ce qui concerne les courants maximaux enregistrés à chaque profondeur (Figure 23), il est utile de noter le changement d'échelle du vecteur. Les courants les plus forts enregistrés dans cette région affichent des vitesses de l'ordre de 50 cm/s (10 fois plus importante que les courants moyens). Ici aussi, la direction des courants change selon la profondeur et la station. Les principales caractéristiques observées sont les suivantes :

- Les courants les plus forts enregistrés à l'embouchure du Passage de Lampidoes, à la station BDE19, se dirigeaient principalement vers le sud (c.-à-d. vers l'extérieur de la baie) à la profondeur la plus élevée (jusqu'à environ 50 m), puis vers le nord (c.-à-d. vers l'intérieur de la baie) dans la couche sous-jacente.

- 
- Les courants les plus forts enregistrés au nord de l'île de Galet circulaient vers l'extérieur de la baie dans la couche supérieure (jusqu'à environ 15 m), puis vers l'intérieur de la baie (à environ 25 à 30 m de profondeur), puis à nouveau vers l'extérieur de la baie (à une profondeur supérieure à 30 m).
  - Les courants les plus forts enregistrés à Little Passage (BDE09 et BDE08) et vers le fond de la Baie d'Hermitage (HB001) circulaient vers l'intérieur de la baie à toutes les profondeurs dans la couche supérieure, sauf à la station BDE07 où ils affichaient une inversion aux alentours de 10 m.
  - Les courants les plus forts enregistrés se déplaçaient vers l'extérieur de la baie dans la couche inférieure de la partie nord de la Baie d'Espoir.
  - À certains sites, les courants les plus forts enregistrés à différentes profondeurs pouvaient se diriger vers l'intérieur ou vers l'extérieur de la baie (sans aucune préférence définie) (p. ex., HB001, HB002, BDE03) ou vers toutes les directions (p. ex., BDE14 et BDE17).

Il est difficile d'interpréter ces observations, car les vecteurs représentent une mesure unique (à un moment spécifique), et les courants maximaux à différentes profondeurs peuvent représenter différents moments et événements.

## **Belle Bay**

Les courants moyens dans Belle Bay affichent une vitesse bien inférieure à celle enregistrée dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir dans la couche supérieure et dans la couche inférieure (Figure 24). Les principales caractéristiques à considérer sont les suivantes :

- Des courants moyens très faibles dans la Baie de Cinq Island dans l'ensemble de la colonne d'eau.
- Des courants moyens se dirigeant vers le sud pour les stations au nord de Chapel Island (dans l'ensemble de la colonne d'eau).
- Des courants circulant vers l'ouest puis vers le nord-est dans le milieu de Belle Bay, la direction tournant dans le sens des aiguilles d'une montre à mesure qu'on descend en profondeur. En profondeur, les courants affichent une cohérence avec les caractéristiques bathymétriques du site, ce qui indique une orientation topographique.
- Au nord de Rencontre Island, les courants moyens dans la couche se situant au-dessus de 20 m affichent une direction vers la rive (orientée vers l'est) et vers le large (orientée vers l'ouest) en profondeur (grosso modo en deçà de 40 m). À l'est de l'île (BB012), les courants moyens affichent également une direction vers la rive (orientée vers l'ouest) dans la couche supérieure à environ 35 m et commencent à tourner en direction du sud-ouest en profondeur.

En ce qui concerne les courants maximaux observés dans Belle Bay (Figure 25), des courants forts (de l'ordre de 50 cm/s) étaient enregistrés autant dans la couche supérieure que dans la couche inférieure. Des courants plus faibles (affichant une vitesse inférieure à environ 30 cm/s) étaient observés dans la Baie de Cinq Island. Dans l'autre partie de la baie, la direction des courants les plus forts observés affiche un certain degré de variabilité au sein des couches, les courants les plus forts enregistrés près de la surface circulant dans une direction, et les courants enregistrés en profondeur circulant dans d'autres directions. Par exemple, à la station BB009, au située au nord-est, les courants les plus forts se dirigeaient vers la rive dans la couche supérieure à environ 35 m, et vers le large en profondeur. À la station BB008, au nord de Chapel Island, les courants les plus forts enregistrés au-dessus et en dessous d'une

---

profondeur d'environ 10 m circulaient vers le nord-est (vers le large) et vers l'ouest-sud-ouest, respectivement. À la station BB005, dans le chenal qui se trouve près de Dog Island, le changement de direction était observé à une profondeur d'environ 60 m.

### **Péninsule de Connaigre**

La figure 26 illustre les courants moyens enregistrés dans la région de la Péninsule de Connaigre, dans la couche supérieure et dans la couche inférieure. Dans l'ensemble, les courants moyens dans l'ensemble de la colonne d'eau sont de même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à ceux enregistrés dans Belle Bay. Les principales caractéristiques à considérer sont les suivantes :

- Les courants moyens dans la Baie de Connaigre se dirigent généralement vers l'extérieur de la baie (dans les couches supérieure et inférieure), sauf près du fond de la baie (CB006 et la partie la plus profonde de CB004).
- Les courants moyens dans Northeast Arm affichent une direction vers l'intérieur de la baie aux profondeurs inférieures à 50 m. Entre 50 m et le fond, les courants moyens commencent à tourner en direction de l'embouchure de la baie.

En ce qui concerne les courants les plus forts enregistrés à la Péninsule de Connaigre (Figure 27), les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Pour les stations qui se trouvent sur le côté est de la Baie de Connaigre, les courants les plus forts enregistrés à une profondeur inférieure à 20 m affichent une tendance à se diriger vers une direction donnée, tandis qu'en profondeur les courants les plus forts affichent une direction plus variable. Sur le côté nord-ouest de la baie, la direction des courants les plus forts est plus variable dans l'ensemble des profondeurs.
- Dans Northeast Arm, les courants les plus forts enregistrés se dirigeaient vers l'intérieur du bras dans la couche supérieure (à une profondeur de 5 à environ 30 m), tandis qu'en profondeur (grosso modo en deçà de 30 m), la direction des courants les plus forts enregistrés était vers l'extérieur du bras.
- Sur le côté ouest de Great Bay de l'Eau, les courants les plus forts observés près de la surface (dans la couche supérieure à 10 m) affichaient une direction vers l'intérieur de la baie, tandis qu'en deçà de cette profondeur, les courants les plus forts se dirigeaient vers l'extérieur de la baie.

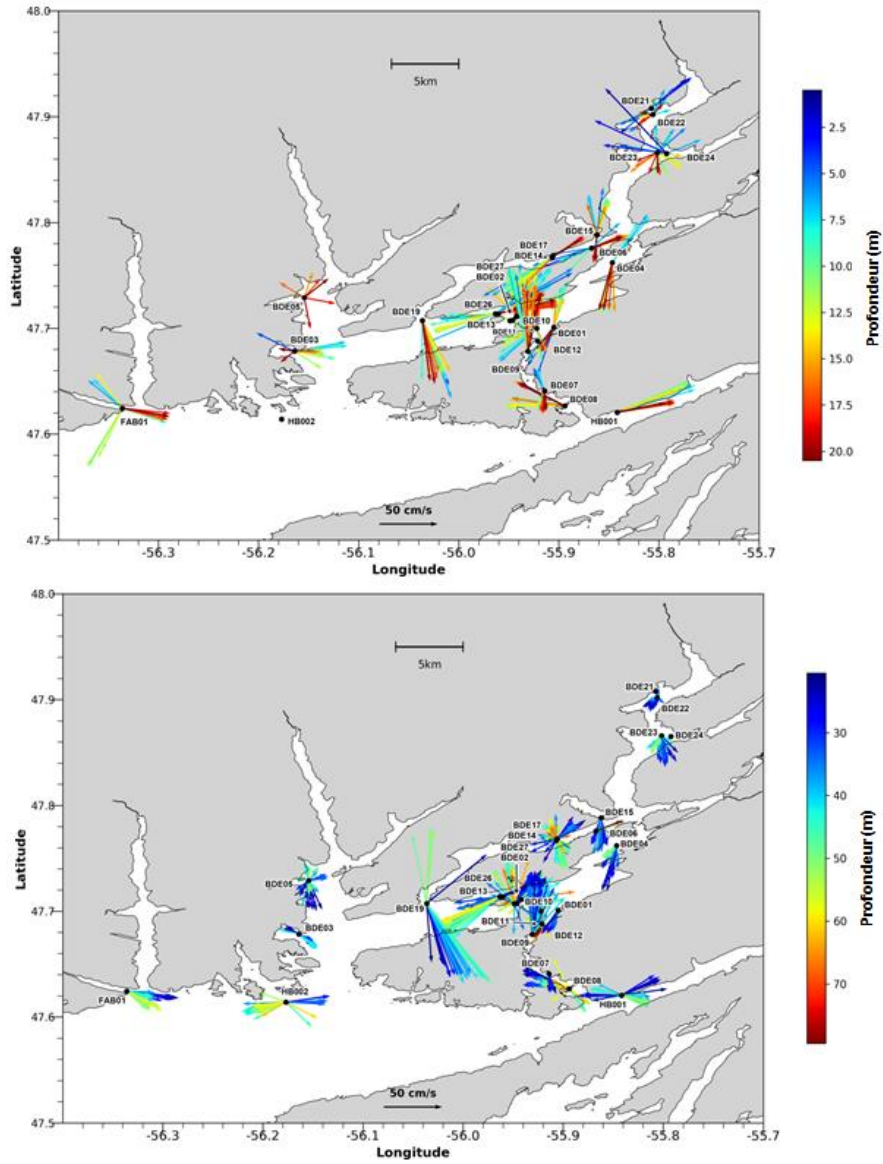


Figure 22. Courants moyens dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir.

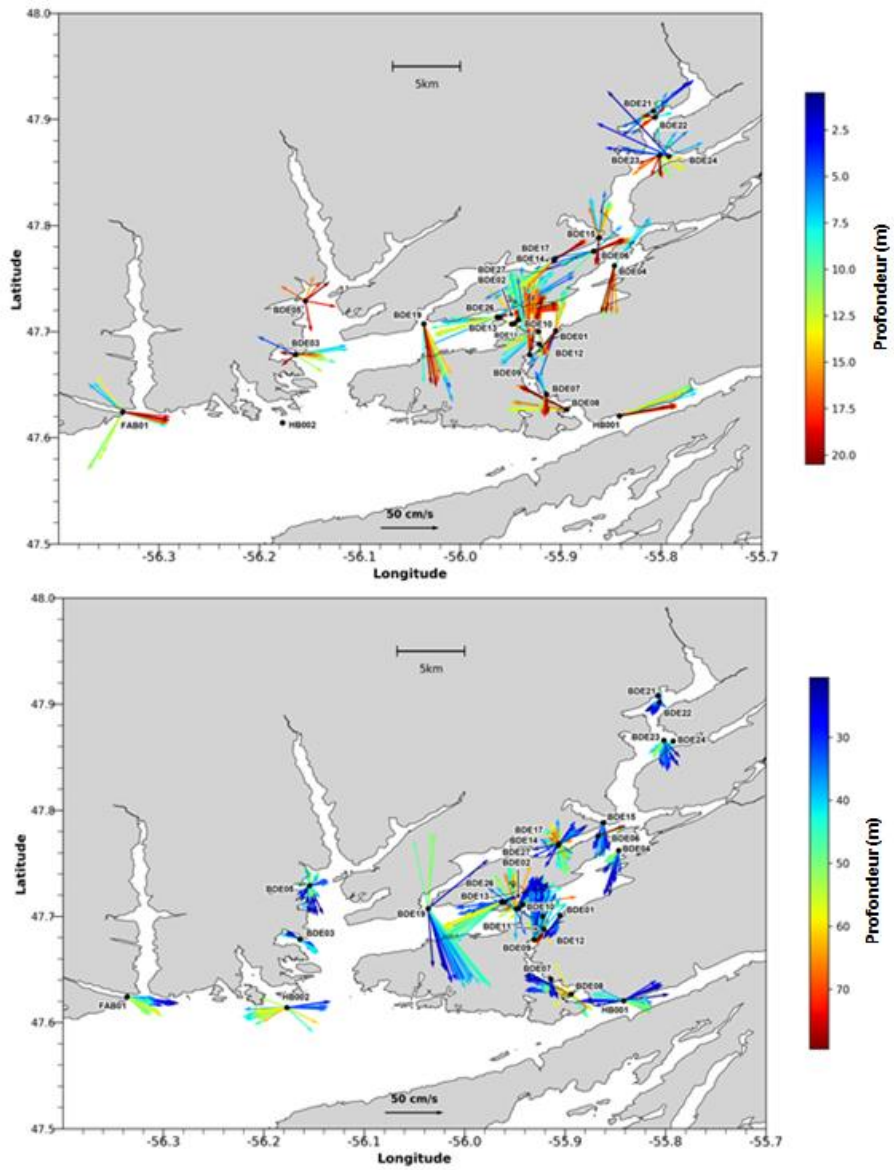


Figure 23. Courants maximaux enregistrés dans la Baie d'Hermitage – Bie d'Espoir pour la couche supérieure (panneau du haut) et pour la couche inférieure (panneau du bas).

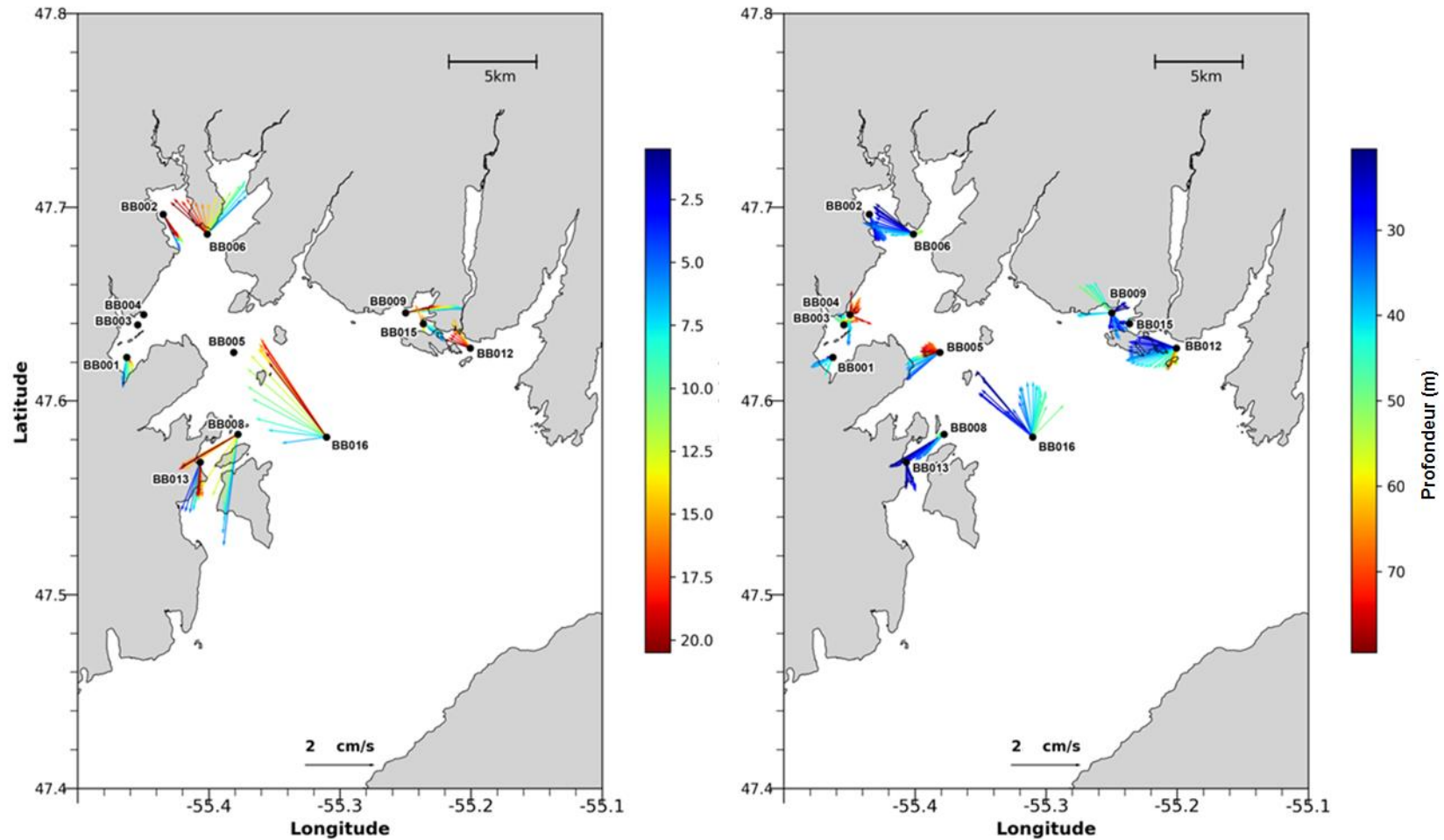


Figure 24. Courants moyens enregistrés dans la couche supérieure (panneau de gauche) et dans la couche inférieure (panneau de droite) dans la région de Belle Bay. Les points sans flèche signifient que les données n'étaient pas disponibles. Veuillez noter le changement d'échelle pour les courants dans Belle Bay.

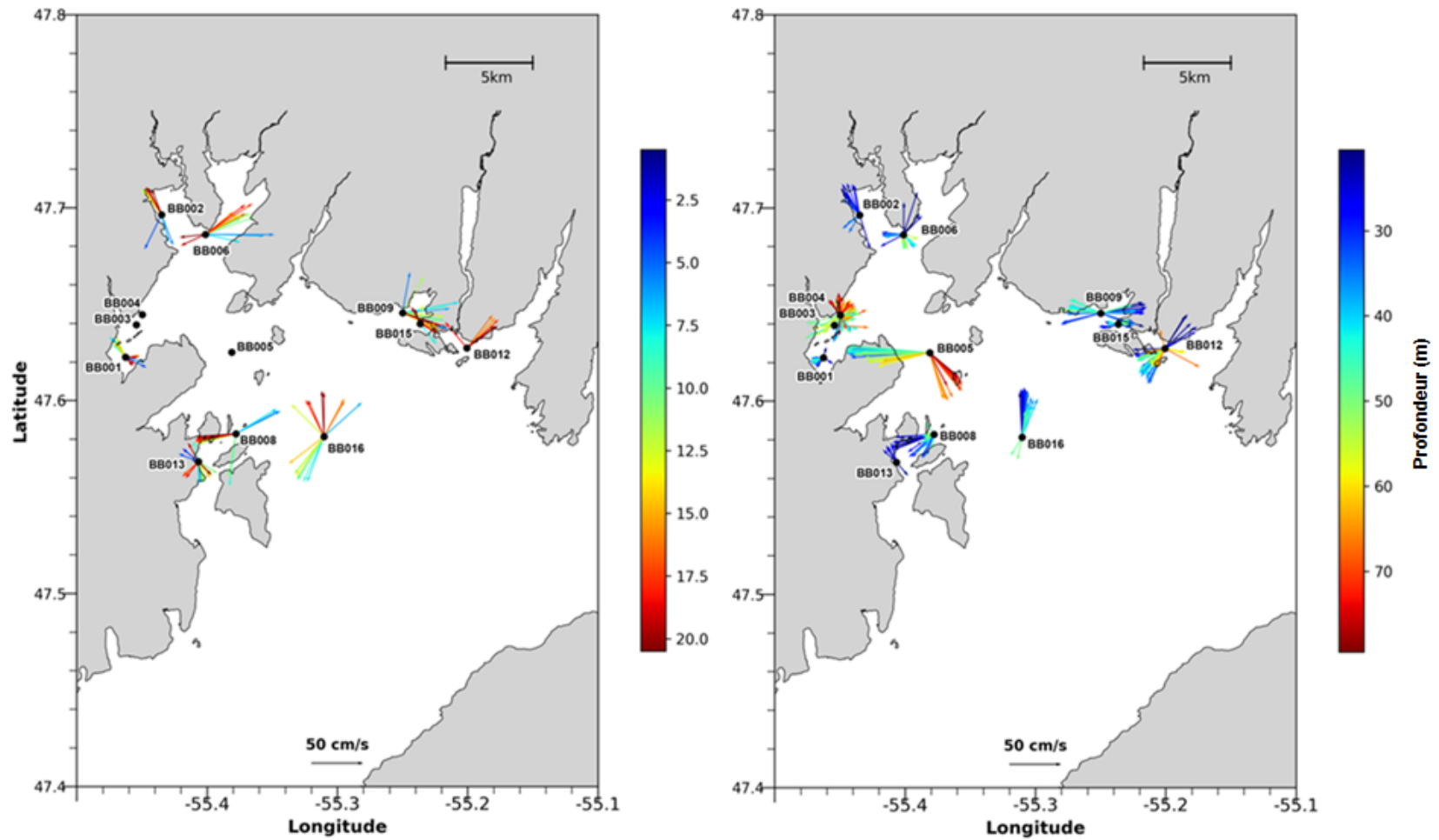


Figure 25. Courants maximaux enregistrés dans Belle Bay pour la couche supérieure (panneau de gauche) et pour la couche inférieure (panneau de droite).



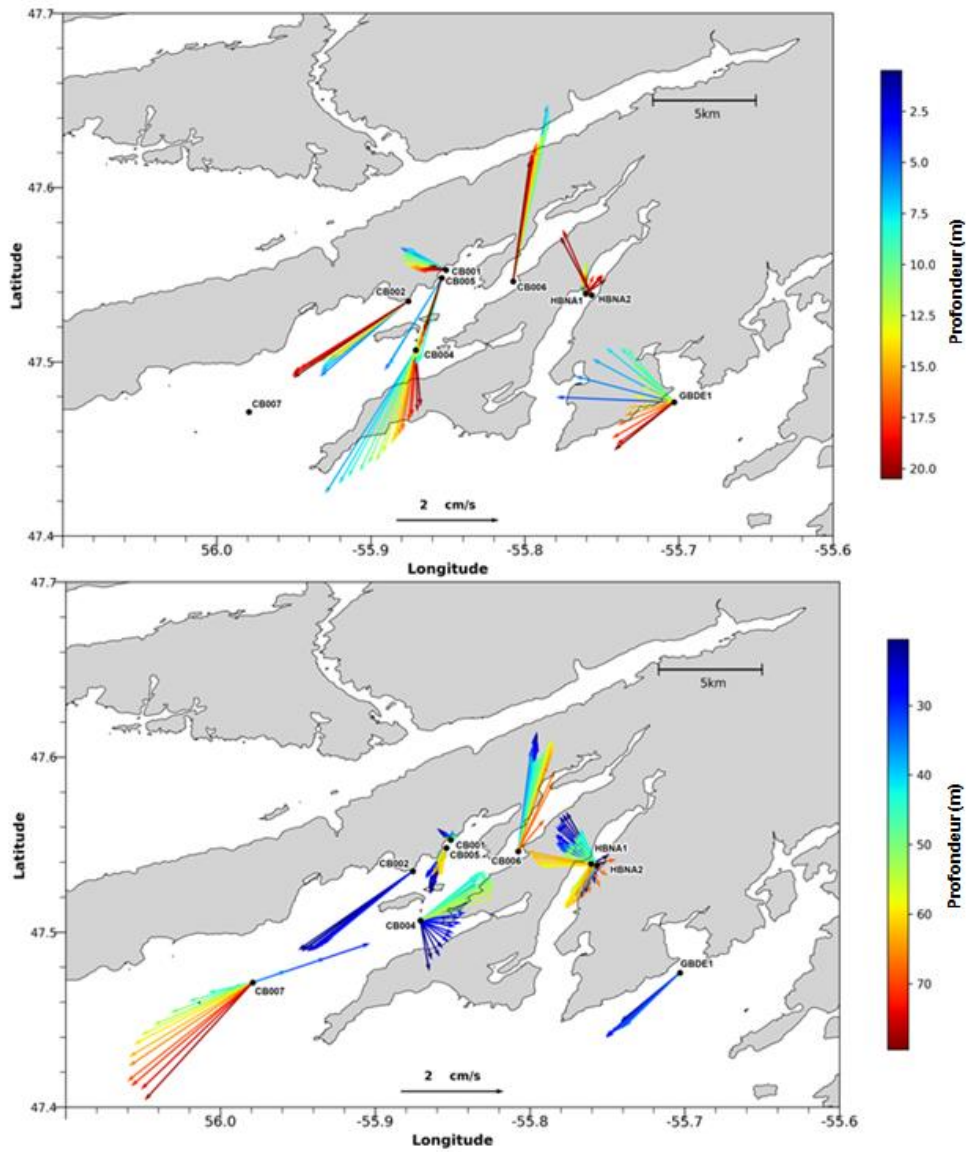


Figure 26. Courants moyens enregistrés dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Péninsule de Connaire.

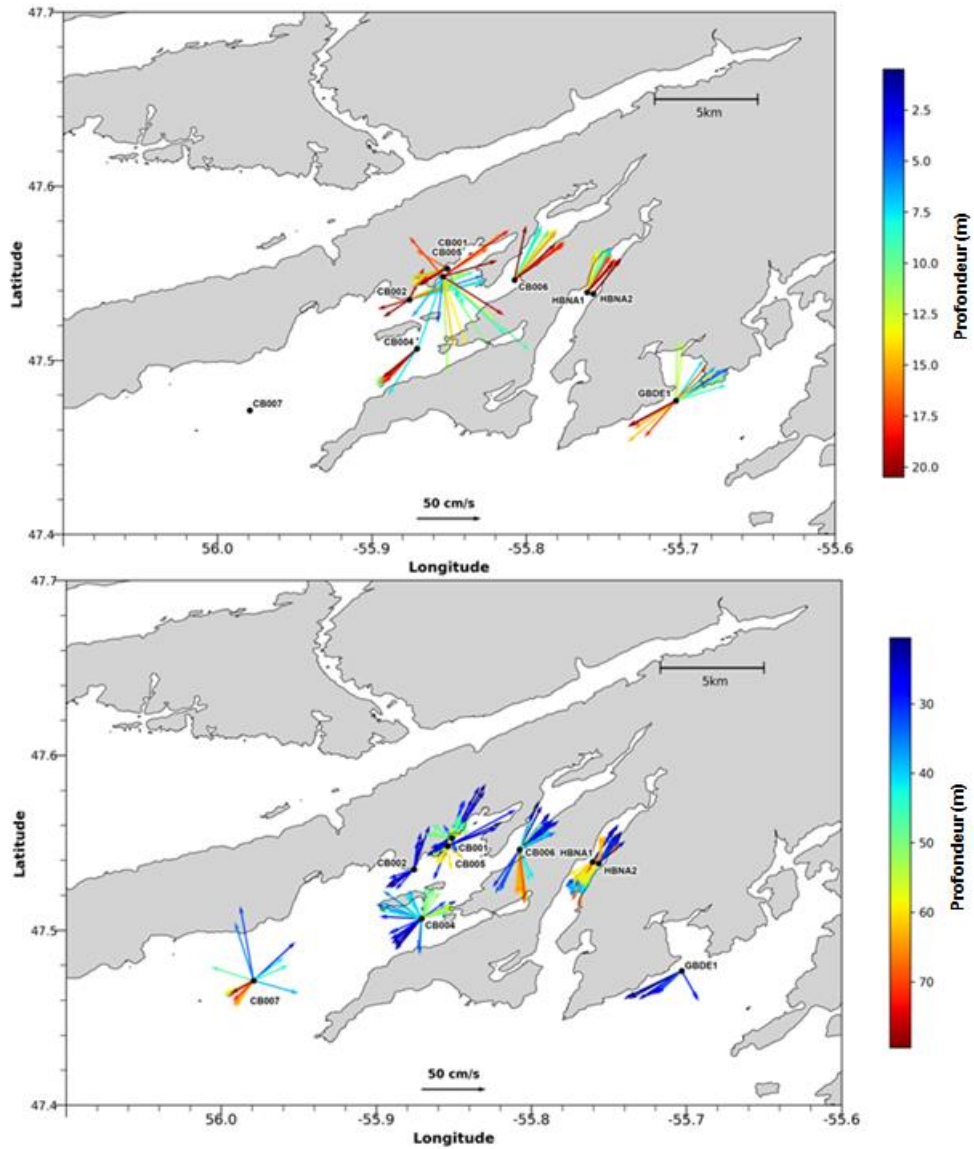


Figure 27. Courants maximaux enregistrés dans la couche supérieure (panneau du haut) et dans la couche inférieure (panneau du bas) dans la région de la Péninsule de Connaigre.

---

## MARÉES

L'analyse des données collectées grâce aux capteurs de pression des ADCP montre que les cinq constituants principaux de marées pour le niveau de la mer sont, par ordre d'importance, la marée semi-diurne lunaire principale (M2) ( $T = 12,42$  h), la marée semi-diurne solaire principale (S2) ( $T = 12$  h), la marée semi-diurne lunaire elliptique majeure (N2) ( $T = 12,66$  h), la marée diurne lunaire principale (O1) ( $T = 25,82$  h) et la marée diurne de déclinaison luni-solaire (K1) ( $T = 23,93$  h). Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus en analysant les données locales du Service hydrographique du Canada (SHC) (Donnet *et al.* 2018A) et avec les résultats d'analyses précédentes des marées dans les autres baies situées dans la partie sud de Terre-Neuve-et-Labrador (Han 2000, Ma *et al.* 2012) et pour l'océan Atlantique Nord-Ouest en général (Petrie *et al.* 1987, Han *et al.* 1996, Han *et al.* 2010).

La Figure 28 illustre les caractéristiques de ces cinq constituants principaux pour la région de Coast of Bays, un résumé étant fourni au Tableau 2. La variabilité du niveau de la mer associée aux marées est principalement semi-diurne, l'amplitude du constituant semi-diurne le plus important étant environ neuf fois plus grande que l'amplitude des constituants diurnes. La phase de M2 calculée à partir de toutes les mesures prises par les ADCP est relativement cohérente ( $354,9 \pm 1,9^\circ$ ), sauf pour deux stations, qui affichaient des phases de  $0^\circ$  (BDE21) et d'environ  $347^\circ$  (BB001). La Figure 29 illustre la répartition spatiale de l'amplitude et de la phase de M2 telles que calculées avec les données du capteur de pression des ADCP. L'amplitude de M2 est plus importante dans Belle Bay (généralement supérieure à 65 cm) que dans les autres régions, et diminue lorsqu'on se déplace vers l'ouest, ce qui est cohérent avec les résultats de Donnet et ses collaborateurs (2018a). Des amplitudes de M2 plus faibles sont observées dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, avec des valeurs inférieures à 62 cm. Des différences sont également observées entre les phases, la région de Belle Bay affichant des valeurs inférieures (moins de  $355^\circ$ ) et la région de la Baie d'Espoir affichant des valeurs généralement supérieures (au-dessus de  $355^\circ$ ), sauf à l'embouchure de Manual Arm, où l'on enregistre une phase inférieure (environ  $352^\circ$ ). Les différences de phase se traduisent par un temps de décalage d'environ  $5,8^\circ$  (ou environ 12 min) entre la marée haute M2 dans la Baie d'Espoir et celle qui se produit dans Belle Bay (ce temps de décalage devient d'environ  $13^\circ$  ou environ 27 min lorsque l'on considère les phases de valeur marginale dans la BDE21 et la BB001).

L'amplitude des autres constituants principaux est significativement plus faible que celle de M2, trois à cinq fois plus petite pour les marées semi-diurnes S2 et N2 et neuf à onze fois plus petite pour les marées diurnes O1 et K1, des rapports qui sont cohérents avec ceux calculés par Donnet et ses collaborateurs (2018a) à partir des données du SHC, sauf pour ce qui est du rapport entre M2 et N2, qui était légèrement supérieur (de cinq à sept fois plus petit). La répartition spatiale de l'amplitude pour les autres constituants principaux (voir les figures à l'annexe 4) montre également une tendance vers de plus faibles amplitudes dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir et une amplitude plus élevée dans la région de Belle Bay, sauf pour N2, pour laquelle les amplitudes avaient tendance à être inférieures en direction du fond de Belle Bay. La répartition des phases tend à être légèrement supérieure sur le côté ouest (Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir) que sur le côté est (Belle Bay).

Si l'on se penche sur la contribution des marées à la variance du niveau de la mer (Figure 30), l'analyse montre que la contribution est importante, avec une moyenne d'environ 83 % (fourchette allant de 75 à 93 %) lorsqu'on tient compte des 13 constituants des marées, et une moyenne d'environ 82 % lorsqu'on ne tient compte que des cinq constituants principaux. La contribution la plus importante est observée dans la Baie d'Espoir, à la Péninsule de Connaigre puis dans Belle Bay, la valeur la plus élevée étant enregistrée à l'extrémité nord de Little Passage, dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir.

Tableau 2. Sommaire (moyenne et écart-type) des constituants principaux de marées dans la région de Coast of Bays, calculé à partir de données du capteur de pression des ADCP, amplitude moyenne (cm) et phase (degrés).

	M2	S2	N2	O1	K1
Amplitude (cm)	63,4±2,2	17,4±0,9	13,5±1,3	7,2±0,5	5,9±0,5
Phase (degrés)	354,9±1,9	32,1±2,4	335,2±4,7	192,9±4,9	206,2±5,8

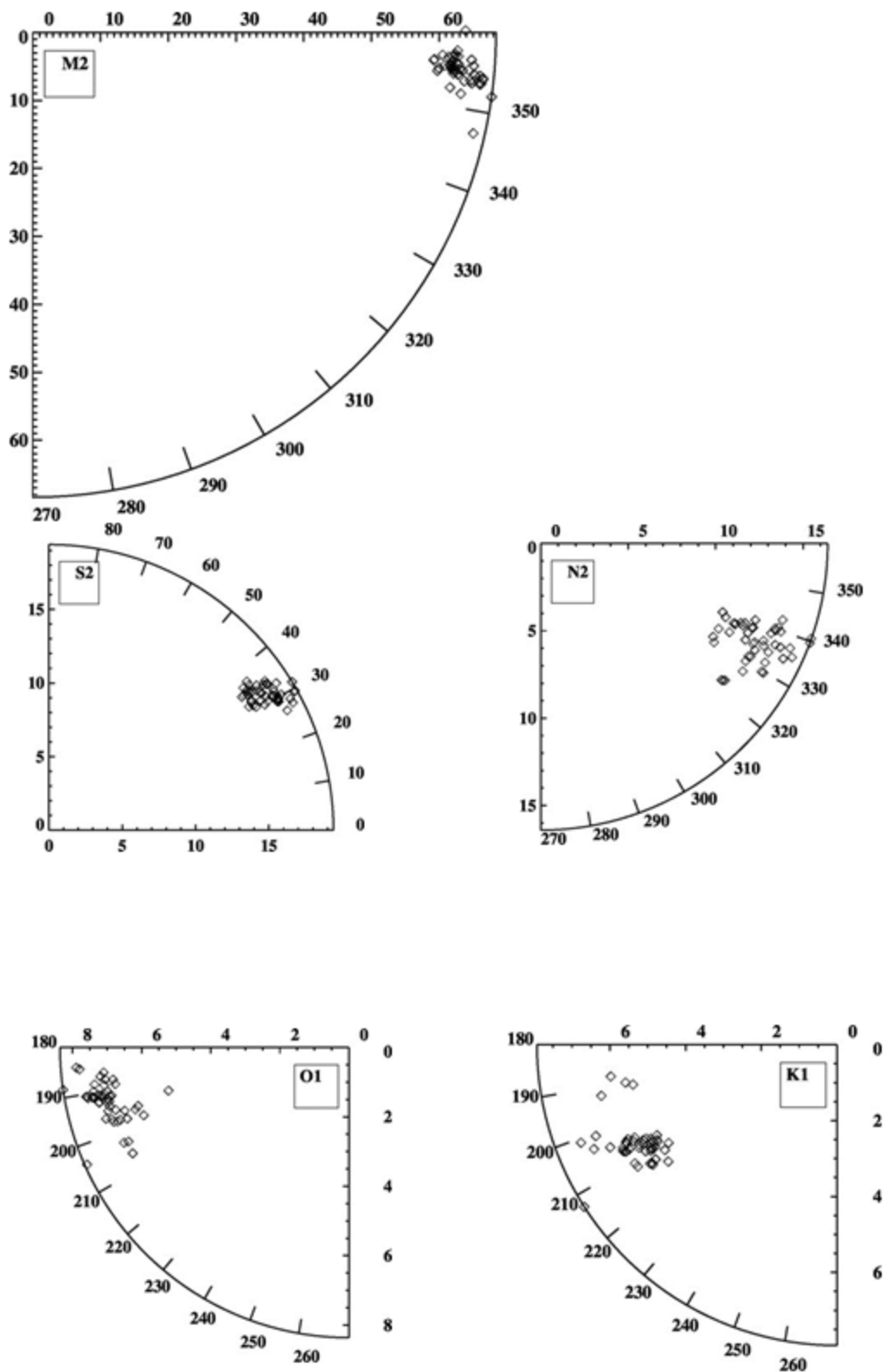


Figure 28. Amplitude (cm) et phase (°) des principaux constituants des marées calculées à partir des données du capteur de pression des ADCP.

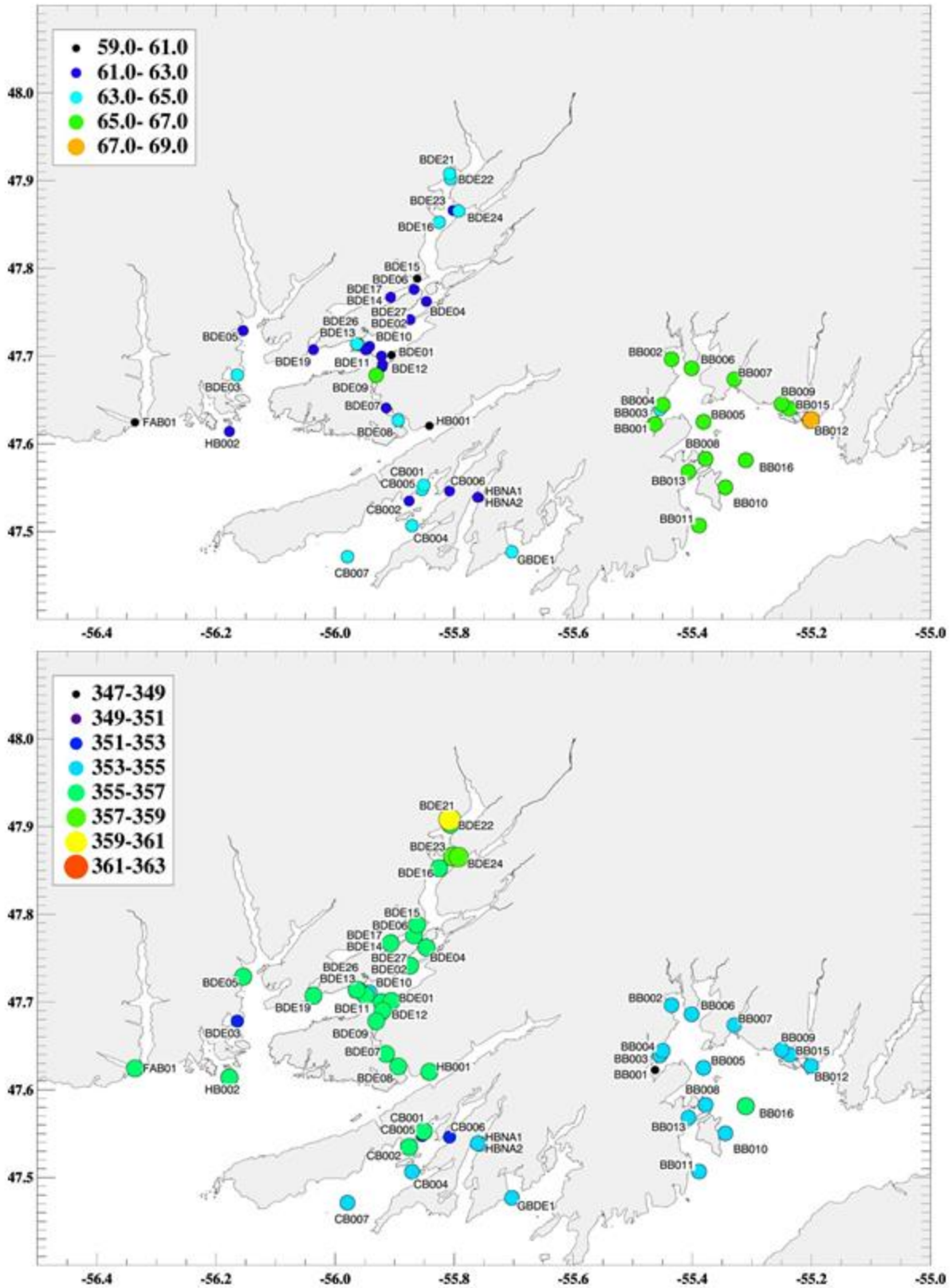


Figure 29. Amplitude en centimètres (panneau du haut) et phase en degrés (panneau du bas) des marées M2 calculées à partir des données du capteur de pression des ADCP.

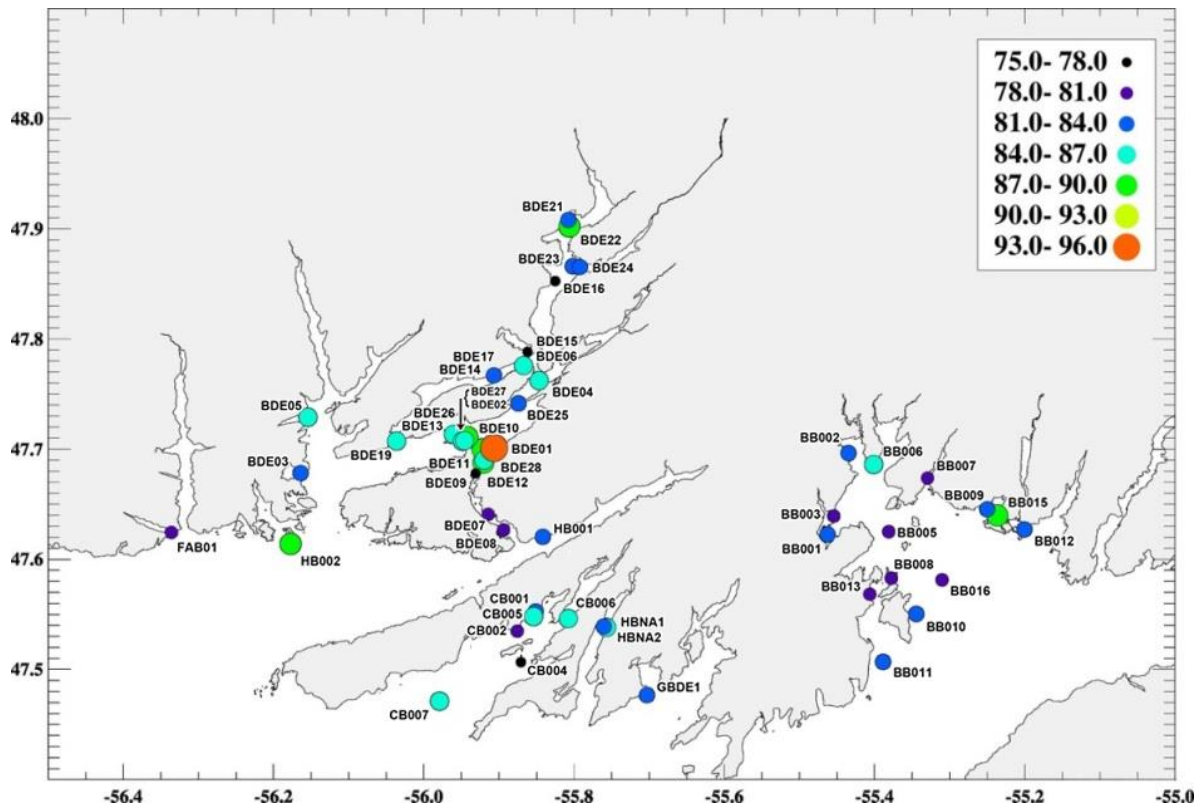


Figure 30. Contribution des marées à la variabilité du niveau de la mer, en pourcentage.

La Figure 31 illustre la vitesse maximale des courants de marée M2 et la Figure 32 illustre l'ellipse de marée correspondante. L'analyse des marées a été réalisée en utilisant la moyenne verticale des courants (pour l'ensemble de la colonne d'eau). La plupart des stations (environ 88 %) affichaient une vitesse du courant de marée M2 inférieure à 6 cm/s. La vitesse du courant de M2 maximale dans la région est environ 23 cm/s et a été calculée pour la station BDE24, laquelle est située vers le fond de la Baie d'Espoir. La figure montre également que les stations affichant des courants de M2 maximaux (supérieurs à 6 cm/s) se trouvent dans la Baie d'Espoir, et que les stations affichant des vitesses maximales inférieures se trouvent dans Belle Bay et à la Péninsule de Connaigre (inférieurs à 3 cm/s). Les vitesses du courant de marée maximales pour les autres constituants principaux sont beaucoup plus faibles (Tableau 3). Comme pour la répartition géographique des courants de marée M2, les stations qui affichent des courants de marée maximaux plus élevés pour les autres constituants de marée ont tendance à se trouver dans la Baie d'Espoir (voir les cartes représentées à l'annexe 5). Les signaux de marée pour les constituants diurnes sont relativement faibles et pourraient se situer à proximité du niveau de bruit ou en deçà de celui-ci (environ 1 cm/s). En ce qui concerne l'inclinaison, les ellipses des marées ressentent généralement l'effet de la bathymétrie et suivent la direction du chenal où les mesures ont été prises.

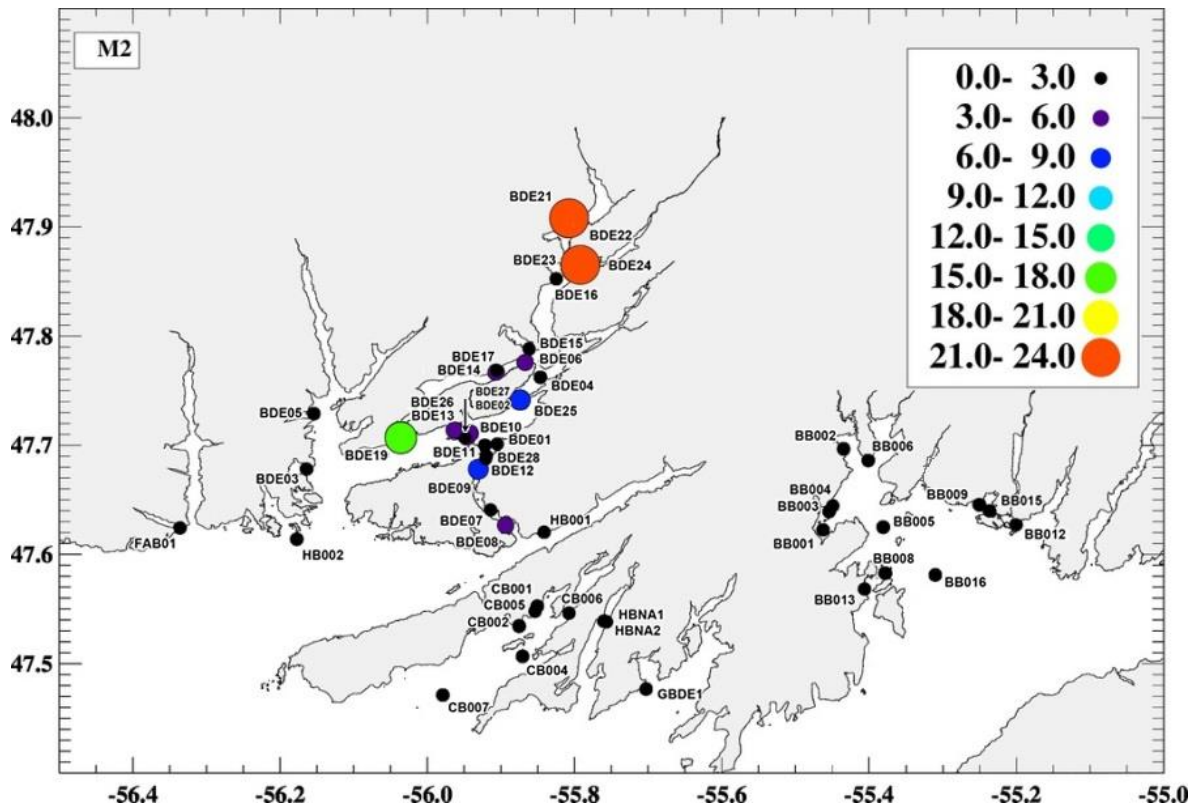


Figure 31. Vitesse du courant maximale (cm/s) pour les courants de marée M2 calculée à partir de la moyenne verticale des courants.

Tableau 3. Vitesses du courant de marée maximales (cm/s) pour les constituants principaux calculées à partir des données de moyenne verticale des courants.

-	M2	S2	N2	O1	K1
Vitesse (cm/s)	23	8	5	1	2

La contribution des marées à la variance des courants est très différente la contribution des marées à la variance du niveau de la mer. La Figure 33 et la Figure 34 présentent des cartes de la contribution des courants de marée calculée en utilisant la moyenne verticale des courants pour la couche supérieure à 20 m et pour la couche allant de 20 m au fond de la mer, respectivement. Des différences marquées sont observées dans la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir et entre celle-ci et les autres régions. On peut en tirer les observations suivantes :

- Au sein de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, la contribution des courants de marée est relativement faible (moins de 10 %) dans la Baie d'Hermitage et dans le Passage de Lampidoes, mais elle est plus importante aux alentours de Bois Island et dans le secteur qui s'étend en direction vers le fond de la Baie d'Espoir.
- Dans le secteur de la Baie d'Espoir, où l'on observe une contribution des marées plus importante, la contribution est supérieure dans la couche inférieure. La contribution maximale est de plus de 50 % dans la couche inférieure, mais peut atteindre 40 % dans la couche supérieure à 20 m.



La contribution des courants de marée (pour les couches supérieure et inférieure) est très faible dans les régions de Belle Bay et de la Péninsule de Connaigre (avec des valeurs inférieures à 5 % dans Belle Bay et à 10 % à la Péninsule de Connaigre).

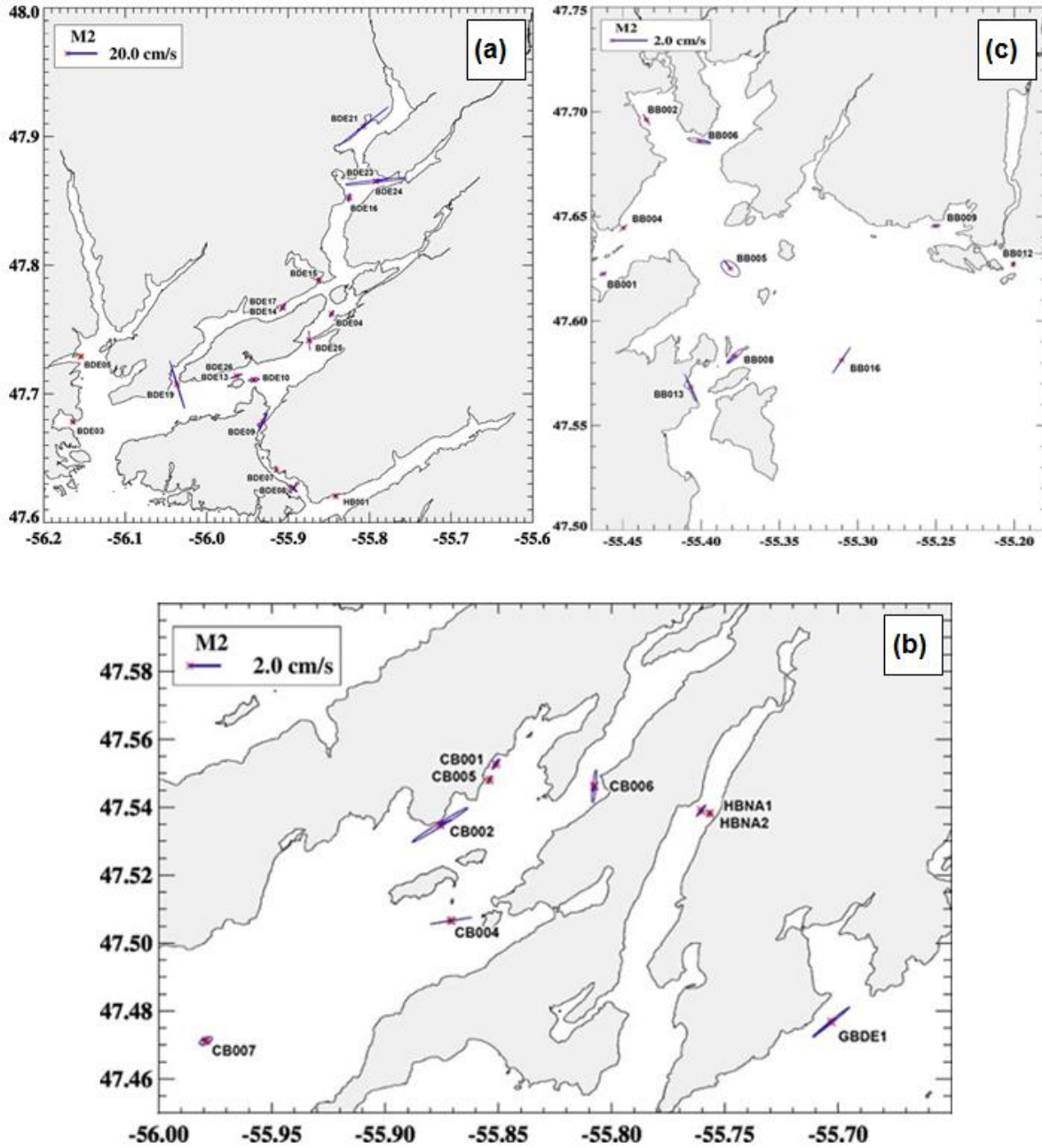


Figure 32. Ellipse des marées M2 calculée à partir de la moyenne verticale des courants dans a) la Baie d'Espoir, b) la Péninsule de Connaigre et c) Belle Bay. Veuillez noter le changement d'échelle pour la région de Belle Bay.

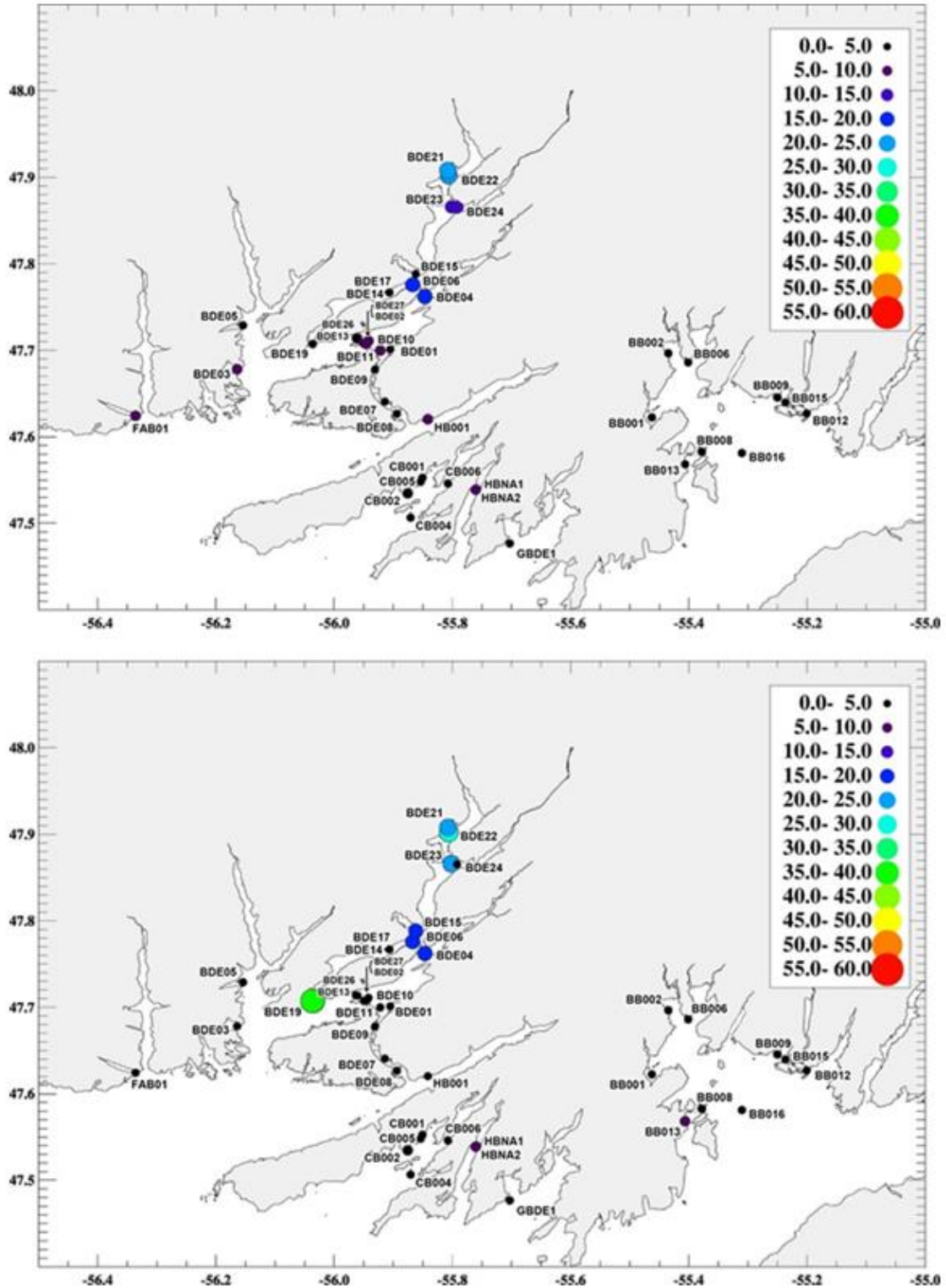


Figure 33. Contribution des courants de marée en pourcentage dans la couche supérieure à 20 m. Le panneau du haut représente la contribution pour la composante de l'ouest vers l'est (zonale) des courants et le panneau du bas représente la contribution pour la composante du sud vers le nord (méridionale) des courants.

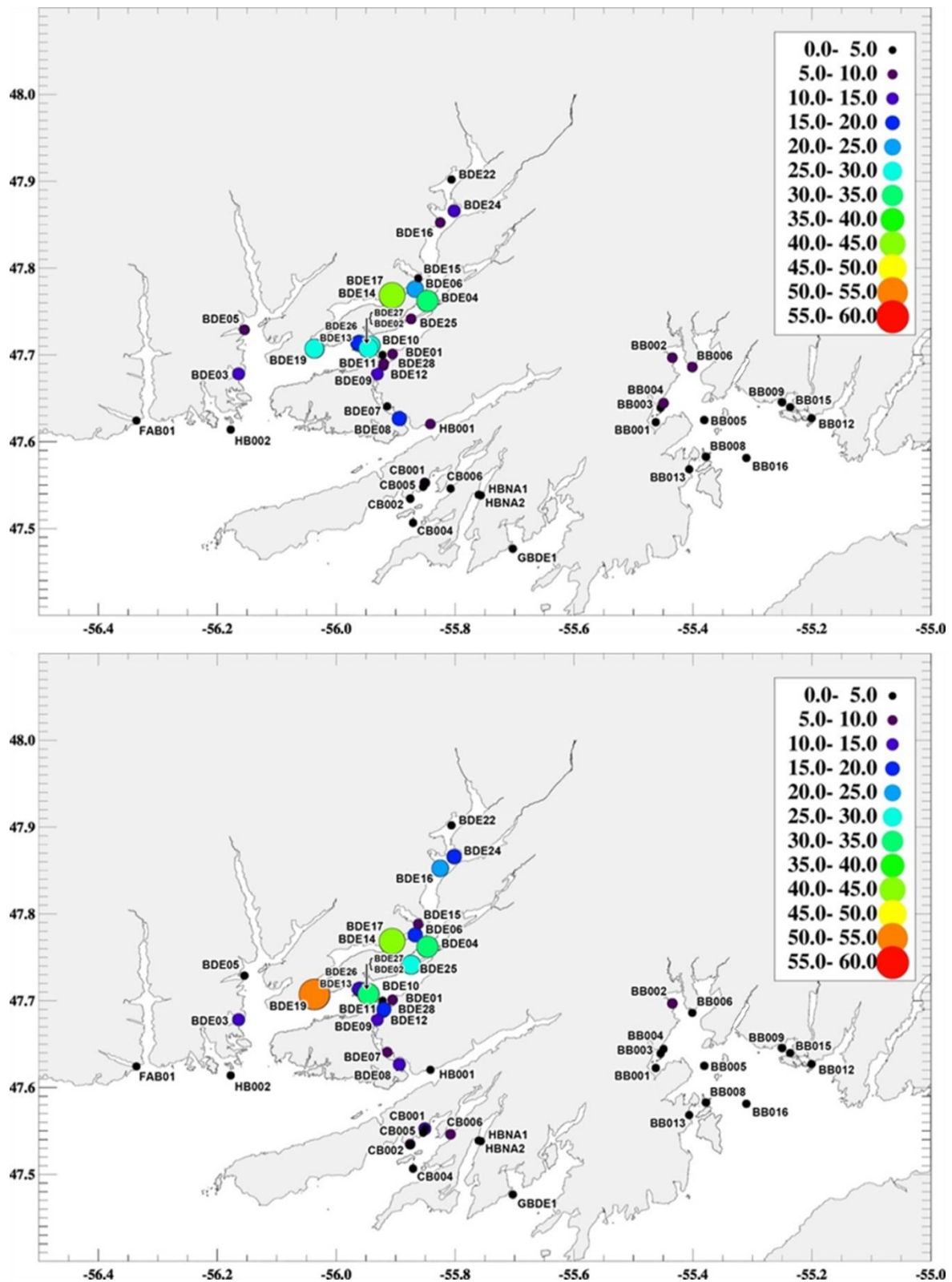


Figure 34. Contribution des courants de marée en pourcentage dans la couche inférieure (en deçà de 20 m de profondeur). Le panneau du haut représente la contribution pour la composante de l'ouest vers l'est (zonale) des courants et le panneau du bas représente la contribution pour la composante du sud vers le nord (méridionale) des courants.

---

## DISCUSSION

Au cours de l'analyse, on a observé une élévation de la vitesse du courant médiane à partir de la couche située près de la surface et jusqu'à des profondeurs plus importantes, la vitesse médiane dans la couche située au-dessus de 20 m étant au moins 1,3 fois plus importante que la vitesse médiane dans la couche située en deçà de 20 m. La vitesse du courant médiane calculée pour la couche située en deçà de 20 m de profondeur se trouvait généralement dans une fourchette allant d'environ 2 à environ 7 cm/s. Au-dessus de 20 m, la vitesse du courant médiane se situait généralement entre 2 et 10 cm/s. Cette dernière fourchette couvre la couche d'eau qui s'étend entre 5 et 20 m en raison des limites afférentes à la mesure par l'ADCP. On s'attend à ce qu'à la surface, c'est-à-dire à une profondeur de 0,5 m, la vitesse du courant soit plus rapide, notamment dans la Baie d'Espoir en raison de son pycnocline peu profond (Donnet *et al.* 2018b). Ratsimandresy et ses collaborateurs (2011) ont observé que, durant l'été, au cours d'expériences menées avec des dériveurs de surface dans la Baie d'Espoir et dans Northeast Arm, la vitesse moyenne du mouvement de l'eau à la surface inférée à partir des déplacements du dériveur était généralement entre 10 et 25 cm/s, certains déploiements affichant des vitesses moyennes supérieures à 40 cm/s. On ne peut pas effectuer de comparaison directe entre les deux ensembles de données en raison des différences de la durée des mesures et du type d'analyses. Cependant, les résultats obtenus grâce aux dériveurs donnent à penser que la vitesse du courant serait plus élevée à la surface, ce qui est cohérent avec les résultats obtenus grâce aux ADCP. Des analyses plus poussées basées sur des mesures du courant très près de la surface et sur des simulations utilisant des modèles numériques nous permettront d'obtenir une information plus complète de la variation.

Les régions affichant des mouvements d'eau importants ou faibles ont été relevés. En comparant ce résultat avec des cartes de la bathymétrie de la région (Donnet *et al.* 2018a) il a été montré que les emplacements où l'on enregistre des vitesses médianes supérieures, emplacements également associés à un EI plus élevé, se trouvent généralement aux alentours de seuils et dans des chenaux étroits. Il s'agit là du résultat d'une accélération locale de l'écoulement due à une diminution de superficie de la zone transversale verticale au travers de laquelle l'eau doit s'écouler (p. ex., Inall et Gillibrand 2010). Les courants dans ces emplacements affichent également des vitesses moyennes plus élevées en comparaison avec les courants dans d'autres emplacements dans la même baie, ceux-ci indiquent la présence d'un transport moyen d'eau dans une direction. Ces emplacements affichant une vitesse médiane plus élevée présentaient également un mélange plus important (Donnet *et al.* 2018b), ce qui donne à penser qu'il y aurait une interaction entre emplacement d'accès peu commode, courants forts et certain degré de mélange.

D'autre part, les stations qui affichaient des vitesses du courant médianes inférieures étaient situées dans des anses abritées, où la vitesse médiane était inférieure à 3,5 cm/s et où, les activités aquacoles étaient, en général, réalisées. Par comparaison à celles d'autres zones abritées où se déroulent des activités aquacoles, cette valeur est faible. Par exemple, les zones abritées en Norvège affichaient des vitesses moyennes s'échelonnant entre 10 et 21 cm/s (Johansson *et al.* 2007). Les zones affichant des vitesses médianes faibles dans la région de Coast of Bays présentent également un faible EI, ce qui serait une indication d'une circulation générale peu importante (p. ex., la station BDE07 dans Little Passage, ou la station BB002 située au fond de Belle Bay). Cette faible circulation peut avoir une incidence sur des processus comme le renouvellement des eaux et celui de l'oxygène dans l'eau (p. ex., Burt *et al.* 2012).

Les pycnoclines séparent les zones de la surface des zones plus profondes de l'océan. Donnet et ses collaborateurs (2018b) ont montré que les pycnoclines de surface dans la région se trouvent généralement dans les premiers 20 m de profondeur du printemps à l'automne, sauf dans la région de la Péninsule de Connaigre, où ils tendent à se trouver plus en profondeur

---

(entre 20 et 40 m). Les pycnoclines sont particulièrement marqués et peu profonds dans la Baie d'Espoir (environ 3 m dans la partie supérieure). La présence d'un pycnocline de surface marqué offre les conditions physiques nécessaires à une circulation distincte des eaux superficielles et celle en profondeur (p. ex., circulation estuarienne). Ceci peut expliquer les différences observées entre les vitesses du courant de chaque couche, la couche située près de la surface affichant des vitesses supérieures à celles que l'on observe dans la couche plus profonde.

La variabilité spatiale des courants moyens et maximaux (différences entre les régions et différences dans la verticale) révèle la présence de mécanismes de forçage différents qui déterminent la circulation dans la région. Les changements de direction des courants moyens entre ceux de la couche se trouvant près de la surface et ceux de la couche plus profonde, observés dans la Baie d'Espoir, peuvent s'expliquer par le débit de sortie d'eau douce venant de l'installation hydroélectrique de la Baie d'Espoir générant ainsi une circulation estuarienne. Les directions des courants moyens sont généralement plus stables que celles des courants maximaux dans l'ensemble de la colonne d'eau. Les premiers reflètent la circulation générale dans la région et résultent de différents champs de forçage et de leur combinaison, tandis que les deuxièmes sont en très grande partie dus à des vents violents (Salcedo-Castro et Ratsimandresy 2013, Currie *et al.* 2014, Donnet *et al.* 2018a). L'existence de couches est moins apparente dans Belle Bay et à la Péninsule de Connaigre que dans la Baie d'Espoir. Cela pourrait être lié au fait que, dans Belle Bay et à la Péninsule de Connaigre, le déversement d'eau douce y est moins important que dans la Baie d'Espoir. La circulation des eaux est également moins bien définie dans ces régions, et les courants maximaux sont de nouveau orientés dans toutes les directions. Une vitesse du courant élevée transitoire, observée principalement dans la couche de surface, a été enregistrée à la plupart des emplacements de la région. Sa présence est associée à des événements atmosphériques (p. ex., le passage d'une tempête, des précipitations abondantes), lesquels ont des répercussions océanographiques (Salcedo-Castro et Ratsimandresy 2013). Des études plus poussées des processus qui mènent à la présence de vitesses du courant élevées transitoires seront nécessaires si l'on veut quantifier sa relation avec les mécanismes de forçage.

Les résultats de l'analyse des marées réalisée à partir des données d'élévation de la surface de la mer montrent que les harmoniques de marées sont cohérentes avec les analyses des marées précédentes dans les régions environnantes, la marée M2 affiche une diminution de l'amplitude et une propagation des vagues de l'est vers l'ouest, avec un décalage d'environ 12 minutes entre la marée haute sur les côtés est et celle sur les côtes ouest de la zone d'étude. Dans l'ensemble de la région d'intérêt, la variance du niveau de la mer s'explique en grande partie par les marées. Cela n'est pas le cas pour les courants, qui apportent une contribution aux marées généralement faible et géographiquement variable.

Les différences dans la contribution des courants de marée aux courants totaux pourraient indiquer la présence d'autres forces plus importantes affectant la circulation marine dans la région. Différents types de forces peuvent être en cause, et leur rôle respectif peut varier d'un emplacement à l'autre et d'une saison à l'autre. Donnet et ses collaborateurs (2018a, 2018b) ont observé la présence d'eau douce dans la région et les effets de celle-ci sur la circulation et sur la structure de l'eau (stratification). On observe principalement la présence d'eau douce près de la surface, avec des signaux plus marqués dans la Baie d'Espoir que dans les autres baies. Le vent représente un autre mécanisme de forçage dont il convient de tenir compte. Dans la région, les vents peuvent être très violents (Salcedo et Ratsimandresy 2013, Currie *et al.* 2014, Donnet *et al.* 2018a) comme le montrent l'analyse des rafales et des vents persistants. Donnet et ses collaborateurs (2018a) ont montré qu'un vent fort persistant affichant une vitesse de 20 m/s était observé à Sagona Island pendant une période continue pouvant aller jusqu'à

---

40 heures. On peut également observer des différences dans les mécanismes de forçage sur le plan vertical. Par exemple, à la station BDE19, qui se trouve sur un seuil et à l'embouchure sud du Passage de Lampidoes, la contribution du courant de marée y est plus faible dans la couche supérieure que dans la couche inférieure (en deçà de 20 m). Dans la couche supérieure, les courants moyens s'écoulent vers l'extérieur de la baie, et dans la couche inférieure, les courants moyens s'écoulent vers l'intérieur de la baie. Compte tenu de la présence d'un débit sortant d'eau saumâtre de surface dans la région (Donnet *et al.* 2018a), ce phénomène serait une indication d'une contribution de la circulation estuarienne à cet endroit, outre la contribution des courants de marée calculée précédemment. Donnet et ses collaborateurs (2018a) estimaient de façon approximative la vitesse des courants de surface à 24 cm/s selon un scénario d'écoulement quotidien extrême d'eau douce venant de l'installation hydroélectrique de la Baie d'Espoir. Cette estimation est du même ordre de grandeur que les courants de marée semi-diurnes maximaux (M2) qui ont été calculés pour la région au fond de la Baie d'Espoir (environ 20 cm/s) et est de une à deux fois les vitesses des courants de l'eau de surface induits par le vent (entre 9 et 18 cm/s), dans des conditions où la vitesse moyenne du vent mesurée dans la région est à environ 9 m/s (Donnet *et al.* 2018a). Les courants maximaux enregistrés à cet emplacement étaient également plus importants que dans d'autres régions, la vitesse étant plus de deux fois supérieure à celle des courants de marée maximaux correspondants, ce qui indiquerait la présence d'autres processus contribuant à ces courants forts. Inall et Gillibrand (2010) ont émis l'hypothèse selon laquelle davantage de processus se dérouleraient dans les zones situées au-dessus des seuils en raison de l'interaction entre la géomorphologie et les mécanismes de forçage environnementaux. Les processus pourraient comprendre le stress dû au vent, la circulation estuarienne, la marée et les vagues internes, et le mélange, pour n'en nommer que quelques-uns. Au cours d'une étude menée aux alentours de sites aquacoles dans les eaux côtières de Norvège, Johansson et ses collaborateurs (2007) ont observé que la présence de pycnoclines avait une incidence sur la structure verticale des courants, des différences étant enregistrées entre les couches qui se trouvent au-dessus et en dessous du pycnocline. Dans notre région, des pycnoclines sont présents à différentes profondeurs et à une intensité variable selon la région et la saison (Donnet *et al.* 2018b), elles ont, en conséquence, un effet sur la structure verticale des courants. Ainsi, il est nécessaire de quantifier le rôle des différentes forces dans chaque région si nous voulons comprendre la circulation marine.

L'analyse de la variabilité temporelle des courants révèle qu'une augmentation aussi importante que 50 % peut être observée dans les courants médians dans la couche supérieure en automne, comparativement aux courants enregistrés durant d'autres saisons. Une telle augmentation en automne a également été observée avec les courants maximaux, mais avec un taux plus élevé (environ 100 %). Ces intensifications des courants océaniques en automne reflètent l'augmentation de la vitesse du vent entre les mois d'avril et d'octobre, comme l'ont observé Donnet et ses collaborateurs (2018a). Des courants maximaux élevés, d'environ cinq à dix fois plus importants que les courants médians, dépendant des forces qui déterminent la circulation, peuvent être observés tout au long de l'année. Ces courants forts peuvent durer toute une journée (Salcedo-Castro et Ratsimandresy 2013) et transporter des particules loin de leur zone d'émission (p. ex., des particules de déchets qui émanent des exploitations aquacoles). Ces observations font ressortir la nécessité de mieux comprendre les forces et les processus principaux qui déclenchent ces courants forts et comment ceux-ci se répercutent sur la circulation des courants.

La comparaison de la carte des concessions aquacoles dans la région de Coast of Bays (Figure 1) avec nos résultats nous donne de l'information sur les caractéristiques des courants à différentes concessions. Cinquante-quatre pour cent des concessions se trouvent dans des zones où la vitesse du courant médiane est entre 4 et 6 cm/s (pour la couche supérieure).

---

Quatorze pour cent de ces concessions se trouvent dans des zones où la vitesse médiane est au-dessus de 6 cm/s (dans Little Passage et dans la Baie d'Hermitage), et les 32 % restantes se trouvent dans des zones où la vitesse médiane se trouve en deçà de 4 cm/s (principalement dans des anses abritées). En outre, ces concessions se trouvent dans des zones caractérisées par des contributions faibles des courants de marée (moins de 10 %), sauf celles qui sont situées dans la partie supérieure de la Baie d'Espoir, où la contribution des courants de marée atteint une valeur d'environ 30 % (au-dessus de 20 m de profondeur). Si nous considérons le transport de particules associé au mouvement des eaux, on peut effectuer une estimation grossière suivant une supposition selon laquelle la contribution des courants de marée est très faible et selon laquelle l'eau se déplace dans la même direction durant un certain temps. Une telle supposition peut découler du fait que, pour une très grande partie des mesures, la contribution des marées aux courants est de moins de 10 % et les mécanismes de forçage comme l'écoulement d'eau douce ou le vent peuvent déclencher une circulation dans une direction particulière durant des périodes relativement longues. On estime la distance de dérive dans les conditions d'une vitesse du courant de 5 cm/s à environ 4,3 km en une journée. Cette distance est le double de la distance de 2 km requise dans le formulaire actuel de demande d'un permis d'aquaculture. Vue d'une autre perspective, cela prendra 5,5 heures à une particule pour franchir une distance d'un kilomètre si l'on tient compte de la distance recommandée de un kilomètre entre les exploitations aquacoles. Ces chiffres devraient changer dans le cas d'une contribution accrue d'autres forces responsable de la circulation des eaux dans la région (p. ex., le vent et l'écoulement d'eau douce). Par exemple, des expériences avec des bouées dérivantes menées dans la partie supérieure de la Baie d'Espoir ont montré que la distance de dérive maximale atteignait 12 km pendant une période de 17 heures, soit une vitesse moyenne d'environ 19,6 m/s (Ratsimandresy *et al.* 2012). D'un autre côté, un calcul hypothétique du transport de particules dans un scénario d'écoulement des rivières extrême dans la Baie d'Espoir montre que les particules pourraient franchir une distance pouvant aller jusqu'à 53 km en 2,6 jours (soit une vitesse d'environ 24 cm/s, Donnet *et al.* 2018a). Ces valeurs deviennent significatives lorsqu'on les applique au transport potentiel d'agents pathogènes, comme des virus ou des parasites, entre les sites aquacoles ou à la dispersion potentielle de déchets provenant de zones résidentielles et gagnant des sites aquacoles.

Les limites suivantes devraient être tenues en compte quand on considère la présente analyse :

- Dans les calculs, la contribution des courants de marée a été estimée pour des couches se situant généralement au-dessus de 70 m de profondeur (50 % des ADCP étaient amarrés à des profondeurs de 50 à 70 m), tandis que l'on sait que les baies sont beaucoup plus profondes (Donnet *et al.* 2018a). La généralisation des estimations de la contribution à la circulation aux zones plus profondes doit être effectuée de façon prudente, car aucune mesure du courant n'a été prise dans ces zones. Cependant, la contribution des marées devrait diminuer dans les zones plus profondes, à moins que des processus de marées internes importants ne soient présents.
- Compte tenu de la tendance des courants à suivre l'axe des fjords ou des chenaux, le calcul de la contribution des courants de marée devrait être plus précis après que l'on aura réalisé une rotation suivant l'axe principal du courant. Cette rotation peut être effectuée en calculant la direction du courant compte tenu de la variance maximale (Thomson et Emery 2014).
- La vitesse du courant consignée dans le présent travail repose sur des mesures qui se sont étalées sur une période allant de un à six mois. Nous ne pouvons pas généraliser ces résultats à des conditions annuelles, car notre analyse ne tient pas compte de la variabilité saisonnière des courants due à différents mécanismes de forçage comme la variabilité du vent ou la variabilité de l'écoulement d'eau douce ou à des changements dans la

---

stratification de la colonne d'eau, des facteurs qui, tous, se sont révélés significatifs (Donnet *et al.* 2018a, 2018b).

- Comme les mesures prises au moyen des ADCP (orientés vers la surface) présentent de par leur nature un biais près de la surface, seules les données recueillies au fond de la Baie d'Espoir nous ont fourni de l'information sur les premiers cinq mètres de la colonne d'eau, toutes les autres données ayant été recueillies à des profondeurs de 5 m ou plus. Ainsi, les statistiques sommaires présentées reflètent généralement les conditions du courant en dessous de 5 m de profondeur, et on manque d'information sur les conditions du courant près de la surface. La présence d'une pycnocline marquée près de la surface, notamment dans la région de la Baie d'Espoir (Donnet *et al.* 2018b) et l'importance de la circulation près de la surface pour le transport des particules vers les sites aquacoles et à partir de ceux-ci exigent que l'on comprenne mieux les courants à la surface. Notre analyse montre que la couche supérieure, entre zéro et 20 m, présente des vitesses du courant plus élevées que celles de la couche située en deçà de 20 m. Ainsi, on peut s'attendre à ce que les courants à la surface (entre zéro et 5 m) soient plus rapides que ce qui ont été enregistrés.
- Incertitude associée au capteur de pression de l'ADCP : selon le manuel technique du fabricant (Teledyne RDI Inc. 2010a), l'incertitude à court terme (c.-à-d. le bruit) est de 0,1 % de l'échelle de cotation complète (1 impulsion). Avec un taux de pression de 200 m, l'incertitude à court terme se situe aux alentours de 20 cm, ce qui, appliquée à une configuration de 200 impulsions/ensemble donne une incertitude d'environ 1,4 cm/ensemble. D'autres incertitudes relatives au calcul des profondeurs étaient présentes, car on n'a pas tenu compte de la variation de la densité de l'eau de mer (c.-à-d. que l'instrument était configuré avec une salinité constante de 35).

## CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Une analyse statistique des courants dans la couche supérieure à 20 m et dans la couche inférieure à 20 m est présentée, de pair avec les caractéristiques et le rôle des marées dans la variation du niveau de la mer et dans la variation des courants dans les eaux littorales de la région de Coast of Bays. À la connaissance des auteurs, la présente étude est la première à donner de l'information exhaustive sur le régime des courants et de l'information sur la marée dans la région. L'information peut nous permettre d'améliorer nos connaissances sur des sujets liés au transport de particules d'un emplacement à un autre, telles particules comprennent les déchets solides et solubles qui sont transportés vers les exploitations aquacoles et à partir de celles-ci, ainsi que les virus et les autres agents pathogènes qui sont présents dans la région. On pourra également parfaire nos connaissances sur des sujets liés à la durée de renouvellement des eaux dans la région (telle que calculée par Donnet *et al.* 2018a). L'étude nous fournit également de l'information qui peut être utilisée pour les processus de choix de sites aquacoles et de délivrance de permis. Dans une perspective plus vaste, l'étude nous permet de parfaire notre compréhension générale des marées dans des régions non couvertes par les études à échelles régionales précédentes, comme celles de Han et ses collaborateurs (2010) ou de Petrie et ses collaborateurs (1987) et elle complète les résultats obtenus par Donnet et ses collaborateurs (2018a). Le développement du modèle de circulation qui est réalisé pour la région bénéficiera également de cette information à des fins de validation et d'ajustement.

Les observations clés suivantes peuvent être faites à partir de l'analyse :

- L'étude nous fournit de l'information sur la vitesse des courants dans la région de Coast of Bays, la vitesse médiane variant selon la région avec une fourchette allant de 2,2 à 12,7 cm/s dans la couche supérieure à 20 m et une fourchette allant de 1,8 à 13,3 cm/s



---

dans la couche inférieure à 20 m de profondeur. Une variabilité est observée entre les baies et entre les différentes parties de la même baie. Sur les trois régions considérées dans le cadre de cette étude, les vitesses médianes dans les couches supérieure et inférieure de la Baie d'Espoir étaient généralement les plus élevées et celles enregistrées dans la Baie de Connaigre les plus faibles.

- On constate que la vitesse du courant dans la couche supérieure est plus importante que celle dans la couche inférieure. La vitesse du courant maximale mesurée était de cinq à dix fois supérieure à la vitesse du courant médiane.
- La circulation des eaux dans la région est complexe, et aucun patron dominant n'émerge outre le flux estuarien dans la Baie d'Espoir et l'orientation topographique en profondeur à tous les sites. Les eaux qui se trouvent dans la couche supérieure à 20 m de la colonne d'eau s'écoulent en direction de l'embouchure du fjord, dans la Baie d'Espoir.
- La variabilité du niveau de la mer est bien décrite, et est dominée par l'action de la marée. En moyenne, la contribution des marées permet d'expliquer plus de 84 % de la variance, la contribution la plus importante étant observée dans la région de la Baie d'Hermitage – Baie d'Espoir, suivie par celle de la région de la Péninsule de Connaigre, puis par celle de la région de Belle Bay. Par contraste, la contribution des marées aux courants montre un tableau bien différent. Seuls les courants enregistrés dans la Baie d'Espoir – Passage de Lampidoes présentent une contribution notable des marées. La contribution maximale a été observée à l'embouchure sud du Passage de Lampidoes, avec une contribution dépassant 55 % pour la composante méridionale (direction sud-nord) de la vitesse, lorsqu'on prenait en considération la moyenne verticale des courants dans la couche inférieure (en-deçà de 20 m). La contribution des marées aux courants est généralement inférieure à 5 % dans Belle Bay et inférieure à 10 % dans la région de la Péninsule de Connaigre.
- Dans la région de la Baie d'Espoir, où la contribution des courants de marée est plus élevée, les courants dans les 20 premiers mètres de la colonne d'eau affichent une contribution des marées moins importante que les courants qui sont enregistrés dans l'ensemble de la colonne d'eau, ce qui indiquerait la présence d'autres forces qui expliquent la circulation des eaux dans cette couche. Dans cette région, l'effet de l'écoulement des rivières et l'effet du vent sur la circulation des eaux de surface sont vraisemblablement plus importants.
- La vitesse du courant médiane autour des concessions aquacoles est faible et se situe généralement entre 4 et 6 cm/s. Les vitesses du courant maximales enregistrées à ces emplacements sont du même ordre de grandeur que celles observées dans l'ensemble de la baie, sauf aux sites où la vitesse du courant médiane est relativement faible (en dessous de 3,5 cm/s). À ces sites, la vitesse du courant maximale enregistrée était également faible, ce qui serait une indication d'un environnement énergétique faible.

D'après les résultats de l'analyse, les recommandations suivantes peuvent être formulées, sans ordre d'importance particulier :

- Comme les courants de surface peuvent être plus rapides que ce qui ont été enregistrés et sont importants pour la dispersion et le transport de particules vers les sites aquacoles et depuis ceux-ci, une caractérisation plus approfondie des courants à la surface permettrait de compléter l'information obtenue au cours du présent travail. On pourrait atteindre cet objectif en prenant des mesures des courants de surface complémentaires avec un dispositif amélioré, même si l'on reconnaît que de telles mesures ont souvent posé des difficultés dans les eaux côtières et dans les eaux en haute mer (p. ex., Laxague *et al.* 2018).

- Comme la stratification de la colonne d'eau varie dépendant du changement de la profondeur de la pycnocline, une analyse plus poussée du régime des courants à différentes profondeurs selon les conditions du vent et la stratification de la colonne d'eau nous permettra de mieux comprendre la variabilité des courants qui n'est pas expliquée par l'action des marées. Une très grande partie de la variabilité des courants dans Little Passage (Baie d'Espoir), dans Belle Bay et à la Péninsule de Connaigre entre dans cette catégorie.
- Il faudra effectuer une étude plus poussée si l'on veut comprendre les mécanismes qui expliquent les vitesses du courant élevées observées. Il est important de comprendre le temps de réponse des eaux aux forces d'impulsion ainsi que la durée des courants forts, car ces caractéristiques auront un impact sur le transport des particules flottantes dans la colonne d'eau. Du point de vue de la santé du poisson, cette variabilité temporelle à court terme des courants peut avoir un effet sur des processus comme le transport et la dispersion de pesticides qui sont libérés des cages ou celui d'agents de traitement du pou de poissons qui sont présents dans les bains des bateaux à viviers. Si nous savons où et quand les courants seront faibles ou forts, nous pourrions établir le moment où il convient d'appliquer les traitements.

## REMERCIEMENTS

Le présent travail a été financé par le Programme de recherche sur la réglementation de l'aquaculture (PRRA) de Pêches et Océans Canada. Les auteurs tiennent à remercier Cooke Aquaculture, Northern Harvest Sea Farms Ltd et le personnel technique de la section de l'aquaculture et de la biotechnologie de Pêches et Océans Canada pour leur aide et les efforts qu'ils ont consentis pour la collecte des données.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, M.R., Tlusty, M.F., Pepper, V.A. 2005. Organic enrichment at cold water aquaculture sites - the case of coastal Newfoundland. *Hdb. Env. Chem.*, Vol. 5, Part M, Environmental Effect of Marine Finfish Aquaculture. 99-113.
- Bay D'Espoir Development Association (BDE-DA). 1984. Salmonid aquaculture in Bay D'Espoir – a development plan, Volume III. 133 pp.
- Boghen, A.D. 1995. Cold water aquaculture in Atlantic Canada. 2nd Edition. New-Brunswick: Canadian Institute for Research on Regional Development. xiii + 672 p.
- Burt, K., Hamoutene, D., Mabrouk, G., Lang, C., Puestow, T., Drover, D., Losier, R., Page, F. 2012. Environmental conditions and occurrence of hypoxia within production cages of Atlantic salmon on the south coast of Newfoundland. *Aquacult. Res.* 43: 607-620. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02867.x.
- Chang, B.D., Coombs, K.A., Page, F.H. 2014. The development of the salmon aquaculture industry in southwestern New Brunswick, Bay of Fundy, including steps toward integrated coastal zone management. *Aquacult. Econ. Manage.* 18(1), pp. 1-27.
- Currie, J.J., Goulet, P., Ratsimandresy, A.W. 2014. Wind Conditions in a Fjordlike Bay and Predictions of Wind Speed Using Neighboring Stations Employing Neural Network Models. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 53, 1525-1537.
- de Young, B. 1983. Deep water exchange in Fortune Bay, Newfoundland. M.Sc. Thesis, Memorial University of Newfoundland.

- 
- Donnet, S., Ratsimandresy, A.W., Goulet, P., Doody, C., Burke, S., Cross, S. 2018a. Coast of Bays metrics: Geography, Hydrology and Physical Oceanography of an aquaculture area of the South Coast of Newfoundland. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/076. x + 109 p. Accès : <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40654473.pdf>.
- Donnet, S., Cross, S., Goulet, P., Ratsimandresy, A.W. 2018b. Coast of Bays seawater vertical and horizontal structure (2009-13): Hydrographic structure, spatial variability and seasonality based on the Program for Aquaculture Regulatory Research (PARR) 2009-13 oceanographic surveys. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/077. viii + 255 p. Accès : <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40655945.pdf>.
- Foreman, M.G.G., Chandler, P.C., Stucchi, D.J., Garver, K.A., Guo, M., Morrison, J., Tuele, D. 2015. The ability of hydrodynamic models to inform decisions on the siting and management of aquaculture facilities in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/005. vii + 49 p.
- Foreman, M.G.G., Cherniawsky, J.Y., Ballantyne, V.A. 2009. Versatile Harmonic Tidal Analysis: Improvements and Applications. J. Atmos. Oceanic Tech. 26, 806-817. DOI: 810.1175/2008JTECHO1615.1171.
- Golub, G.H., Van Loan, C. F. 1983. Matrix Computations. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, Md. 476 pp.
- Gustafson, L.L., Ellis, S.K., Beattie, M.J., Chang, B. D., Dickey, D.A., Robinson, T.L., Marengi, F.P., Moffett, P.J., Page, F.H. 2007. Hydrographics and the timing of infectious salmon anemia outbreaks among Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) farms in the Quoddy region of Maine, USA and New Brunswick, Canada. Prev. Vet. Med. 78: 35-56.
- Han, G., Ikeda, M., Smith, P.C. 1996. Oceanic tides over the Newfoundland and Scotian Shelves from TOPEX/POSEIDON altimetry. Atmos.-Ocean 34, 589-604.
- Han, G. 2000. Three-dimensional modelling of tidal currents and mixing quantities over the Newfoundland shelf. J. Geophys. Res. 105(C5): 11407-11422.
- Han, G., Paturi, S., de Young, B., Yi, S., Shum, C.-K. 2010. A 3-D data assimilative tide model of the Northwest Atlantic. Atmos.-Ocean. 48: 39-57.
- Helsley, C.E., Kim, J.W. 2005. Mixing downstream of a submerged fish cage: A numerical study. IEEE J. Oceanic Eng. 30(1): 12-9.
- Inall, M.E., Gillibrand, P.A. 2010. The physics of mid-latitude fjords: a review. Geological Society, London, Special Publications 2010 (344), 17-33. Accès : <http://dx.doi.org/10.1144/SP344.3>.
- Jarp, J., Karlsen, E. 1997. Infectious salmon anaemia (ISA) risk factors in sea-cultured Atlantic salmon *Salmo salar*. Dis. Aquat. Org. 28, 79-86.
- Johansson, D., Juell, J.-E., Oppedal, F., Stiansen, J.-E, Ruohonen, K. 2007. The influence of the pycnocline and cage resistance on current flow, oxygen flux and swimming behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages. Aquaculture. 265: 271-287.
- Johansson, D., Laursen, F., Ferno, A., Fosseidengen, J.E., Klebert, P. 2014. The Interaction between Water Currents and Salmon Swimming Behaviour in Sea Cages. PLoS ONE 9(5): e97635. DOI: 10.1371/journal.pone.0097635.
- Golub, G.H., Van Loan, C.F. 1983: Matrix computations. The Johns Hopkins University Press. 476 pp.

- 
- Joint Government/Industry Working Group (Scotland), & Scotland. 2000. Final report of the Joint Government/Industry Working Group on infectious salmon anaemia (ISA) in Scotland. Aberdeen: Scottish Executive.
- Laxague, N.J.M., Özgökmen, T.M., Haus, B.K., Novelli, G., Shcherbina, A., Sutherland, P., Molemaker, J. 2018. Observations of near-surface current shear help describe oceanic oil and plastic transport. *Geophys. Res. Lett.* 45, 245-249. <https://doi.org/10.1002/2017GL075891>.
- Ma, Z., Han, G., de Young, B. 2012. Modelling Temperature, Currents and Stratification in Placentia Bay, *Atmos.-Ocean*. DOI: 10.1080/07055900.2012.677413.
- Mansour, A., Hamoutene, D., Mabrouk, G., Puestow, T., Barlow, E. 2008. Evaluation of some environmental parameters for salmon aquaculture cage sites in Fortune Bay, Newfoundland: emphasis on the occurrence of hypoxic conditions. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2814: vi + 21 p.
- Murray, A.G. 2003. The epidemiology of infectious salmon anemia in Scotland. *In* International response to infectious salmon anemia: prevention, control, and eradication: proceedings of a symposium; 3-4 September 2002; New Orleans, LA. Technical Coordinators - O. Miller and R.C. Cipriano. *Tech. Bull.* 1902. Washington (DC): U.S. Dept, of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service; U.S. Dept, of the Interior, U.S. Geological Survey; U.S. Dept, of Commerce, National Marine Fisheries Service, p. 55-62. Accès : [https://www.aphis.usda.gov/animal\\_health/animal\\_dis\\_spec/aquaculture/downloads/isa-proceedings.pdf](https://www.aphis.usda.gov/animal_health/animal_dis_spec/aquaculture/downloads/isa-proceedings.pdf). Consulté le 18 septembre 2018.
- Marine Science Research Laboratory (MSRL). 1980. Bay d'Espoir Aquaculture Feasibility Study, Volume II, Section 10: Coastal and Estuarine Pen Rearing Sites. pp. 1-37.
- McClure, C.A., Hammell, K.L., Dohoo, I.R. 2005. Risk factors for outbreaks of infectious salmon anemia in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Prev. Vet. Med.* 72, 263-280.
- Ministère des Pêches et de l'Aquaculture (DFA). 2014a. Newfoundland and Labrador Sustainable Aquaculture Strategy 2014. Accès : <http://www.fishaq.gov.nl.ca/publications/strategicplan/>. Consulté le 2 mars 2015.
- Ministère des Pêches et de l'Aquaculture (DFA), 2014b. Statistics, Aquaculture. Site Web du DFA. Accès : [http://www.fishaq.gov.nl.ca/stats/archives/aqua\\_stats\\_archive.html](http://www.fishaq.gov.nl.ca/stats/archives/aqua_stats_archive.html). Consulté le 12 mars 2015.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L. 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture*. 311, 1-18.
- Page, F.H., Chang, B.D., Losier, R.J., Greenberg, D.A., Chaffey, J.D., McCurdy, E.P. 2005. Water circulation and management of infectious salmon anemia in the salmon aquaculture industry of southern Grand Manan Island, Bay of Fundy. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2595 iii + 78 p.
- Pepper, V.A., Nicholls, T., Collier, C., Watkins, V., Barlow, E., Tlusty, M.F. 2003. Quantitative performance measurement of alternative North American salmonid strains for Newfoundland aquaculture. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2502: vi + 53 p.
- Pepper, V.A., Withler, R., Nicholls, T., Collier, C. 2004. Quantitative marine performance evaluation of a Newfoundland Atlantic salmon strain for Bay d'Espoir aquaculture. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2540: vii + 44 p.
- Petrie, B., Lank, K., de Margerie, S. 1987. Tides on the Newfoundland grand banks. *Atmos.-Ocean*. 25:1, 10-21

- 
- Petrie, B., Drinkwater, K., Gregory, D., Pettipas, R., Sandstrom, A. 1996a. Temperature and salinity atlas for the Scotian Shelf and the Gulf of Maine. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 171: v + 398 pp.
- Petrie, B., Drinkwater, K., Sandstrom, A., Pettipas, R., Gregory, D., Gilbert, D., Sekhon, P. 1996b. Temperature, salinity and sigma-t atlas for the Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 178: v + 256 pp.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P. 1992. Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ratsimandresy, A.W., Page, F., Mabrouk, G., Losier, R., Drover, D., Ings, D., McCurdy, P. 2012. Aquaculture drifter programme: progress update 2010. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/127. vi + 41 p.
- Richard, J.M., Hay, A.E. 1984. The physical oceanography of Bay d'Espoir, Newfoundland. Institute of Cold Ocean Sciences. Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL, 30 pp.
- Salcedo-Castro, J., Ratsimandresy, A.W. 2013. Oceanographic response to the passage of hurricanes in Belle Bay, Newfoundland. Estuarine, Coastal Shelf Sci. 133: 224-234.
- Statistique Canada. 23 juillet 2013. Construction de diagrammes de quartiles. Accès : <http://www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch12/5214889-fra.htm>.
- Taylor, V.R. 1975. A Preliminary assessment of Newfoundland near-shore areas as potential sites for salmonid mariculture. Environment Canada, Fisheries and Marine Service, Internal Report Series No. NEW /1-75-5 Newfoundland Region.
- Teledyne RDI, Inc. 2010a. WorkHorse Commands and Output Data Format. P/N 957-6156-00.
- Teledyne RDI, Inc. 2011. Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer. P/N 951-6069-00.
- Thomson, R.E., Emery W.J. 2014. Data analysis methods in physical oceanography, 3rd Edition. p. 728.
- Tlusty, M.F., Pepper, V.A., Anderson, M.R. 1999. Environmental monitoring of finfish aquaculture sites in Bay d'Espoir Newfoundland during the winter of 1997. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2273: vi + 34 p.
- Upton, G., and I. Cook. 1996. Understanding Statistics. New York, NY: Oxford University Press.
- Vågsholm, I., Djupvik, H.O., Willumsen, F.V., Tveit, A.M., Tangen, K. 1994. Infectious salmon anaemia (ISA) epidemiology in Norway. Prev. Vet. Med. 19, 277-290. DOI: 10.1016/0167-5877(94)90095-7.
- Venayagamoorthy, S.K., Ku, H., Fringer, O.B., Chiu, A., Naylor, R.L., Koseff, J.R. 2011. Numerical modelling of aquaculture dissolved waste transport in a coastal embayment. Environ. Fluid Mech.

## ANNEXE I

### EMPLACEMENT, DATES ET PROFONDEURS DES DÉPLOIEMENTS DE L'ADCP

Station	Baie	Position	Date	Durée du déploiement (jours)	Première cellule (en m de profondeur)	Cellule la plus profonde (en m au-dessus du fond de la mer)	Profondeur du site (en m)	Pourcentage de la colonne d'eau échantillonnée
BB001	BB	47,6225N 55,4626O	22 avril – 20 juin 2009	59	5	5	50	82
BB002	BB	47,6963N 55,4349O	20 juin – 25 septembre 2009	97	5	5	42	79
BB002	BB	47,6968N 55,4349O	25 septembre – 5 novembre 2009	41	6	6	52	79
BB003	BB	47,6392N 55,4544O	15 octobre 2010 – 14 avril 2011	181	39	6	75	41
BB004	BB	47,6444N 55,4497O	6 mai – 30 juin 2011	55	37	6	97	57
BB005	BB	47,6250N 55,3812O	6 mai – 29 juin 2011	54	32	66	147	34
BB005	BB	47,6249N 55,3809O	3 juillet – 22 octobre 2011	111	6	70	152	51
BB006	BB	47,6861N 55,4012O	7 mai – 30 juin 2011	54	6	6	61	82
BB007	BB	47,6737N 55,3296O	7 mai – 29 juin 2011	53	-	-	73	-
BB008	BB	47,5827N 55,3783O	7 mai – 30 juin 2011	54	7	6	60	80
BB008	BB	47,5827N 55,3784O	30 juin – 24 octobre 2011	116	7	6	59	80
BB008	BB	47,5827N 55,3784O	24 octobre 2011 – 25 février 2012	124	7	6	59	80
BB009	BB	47,6454N 55,2500O	8 mai – 29 juin 2011	52	6	6	57	81
BB009	BB	47,6453N 55,2500O	1 <sup>er</sup> juillet – 15 octobre 2011	106	7	6	53	77
BB009	BB	47,6454N 55,2500O	22 octobre 2011 – 20 février 2012	121	16	6	65	68
BB009	BB	47,6456N 55,2506O	26 septembre – 24 octobre 2012	28	7	6	57	79
BB010	BB	47,5503N 55,3444O	30 juin – 20 octobre 2011	112	-	-	61	-
BB011	BB	47,5068N 55,3887O	30 juin – 22 octobre 2011	114	-	-	69	-
BB012	BB	47,6271N 55,2006O	1 <sup>er</sup> juillet – 23 octobre 2011	114	15	6	74	73
BB013	BB	47,5682N 55,4065O	22 septembre – 22 octobre 2011	51	4	6	35	74
BB015	BB	47,6397N 55,2365O	1 <sup>er</sup> mai – 19 août 2012	110	6	6	56	80

Station	Baie	Position	Date	Durée du déploiement (jours)	Première cellule (en m de profondeur)	Cellule la plus profonde (en m au-dessus du fond de la mer)	Profondeur du site (en m)	Pourcentage de la colonne d'eau échantillonnée
BB016	BB	47,5812N 55,3102O	26 septembre – 24 octobre 2012	28	7	6	56	79
BDE01	BDE	47,7010N 55,9051O	25 avril – 13 juillet 2010	79	5	5	40	78
BDE02	BDE	47,7076N 55,9459O	21 avril – 16 juin 2009	56	7	6	67	82
BDE03	BDE	47,6782N 56,1641O	22 avril – 15 juin 2009	54	5	6	50	80
BDE04	BDE	47,7622N 55,8466O	17 juin – 23 septembre 2009	98	7	6	58	79
BDE05	BDE	47,7289N 56,1543O	17 juin – 23 septembre 2009	98	16	5	57	65
BDE06	BDE	47,7758N 55,8672O	23 juin – 22 septembre 2009	91	4	5	28	71
BDE07	BDE	47,6408N 55,9142O	24 septembre – 5 novembre 2009	42	5	5	36	75
BDE08	BDE	47,6266N 55,8940O	24 septembre – 5 novembre 2009	42	8	6	71	82
BDE09	BDE	47,6780N 55,9309O	26 septembre – 5 novembre 2009	40	5	5	48	81
BDE10	BDE	47,7109N 55,9421O	25 avril – 13 juillet 2010	79	7	6	73	84
BDE11	BDE	47,6998N 55,9220O	25 avril – 12 juillet 2010	78	7	56	121	49
BDE12	BDE	47,6876N 55,9208O	26 avril – 12 juillet 2010	77	49	56	154	32
BDE13	BDE	47,7134N 55,9606O	26 avril – 13 juillet 2010	78	7	6	66	82
BDE14	BDE	47,7669N 55,9068O	13 juillet – 13 octobre 2010	92	6	6	57	81
BDE15	BDE	47,7882N 55,8620O	15 octobre 2010 – 10 mars 2011	146	6	6	44	75
BDE16	BDE	47,8525N 55,8252O	15 octobre 2010 – 3 mars 2011	138	42	6	75	37
BDE17	BDE	47,7685N 55,9060O	5 mai – 28 juin 2011	54	29	6	75	55
BDE19	BDE	47,7072N 56,0364O	2 mai – 2 août 2012	92	6	6	60	82
BDE19	BDE	47,7073N 56,0366O	23 septembre – 18 novembre 2012	56	7	6	59	80
BDE19	BDE	47,7073N 56,0368O	27 avril – 9 juillet 2013	73	6	6	45	76
BDE19	BDE	47,7068N 56,0362O	9 juillet – 17 octobre 2013	100	6	6	54	80
BDE21	BDE	47,9079N 55,8076O	3 mai – 13 septembre 2012	133	1	3	10	62

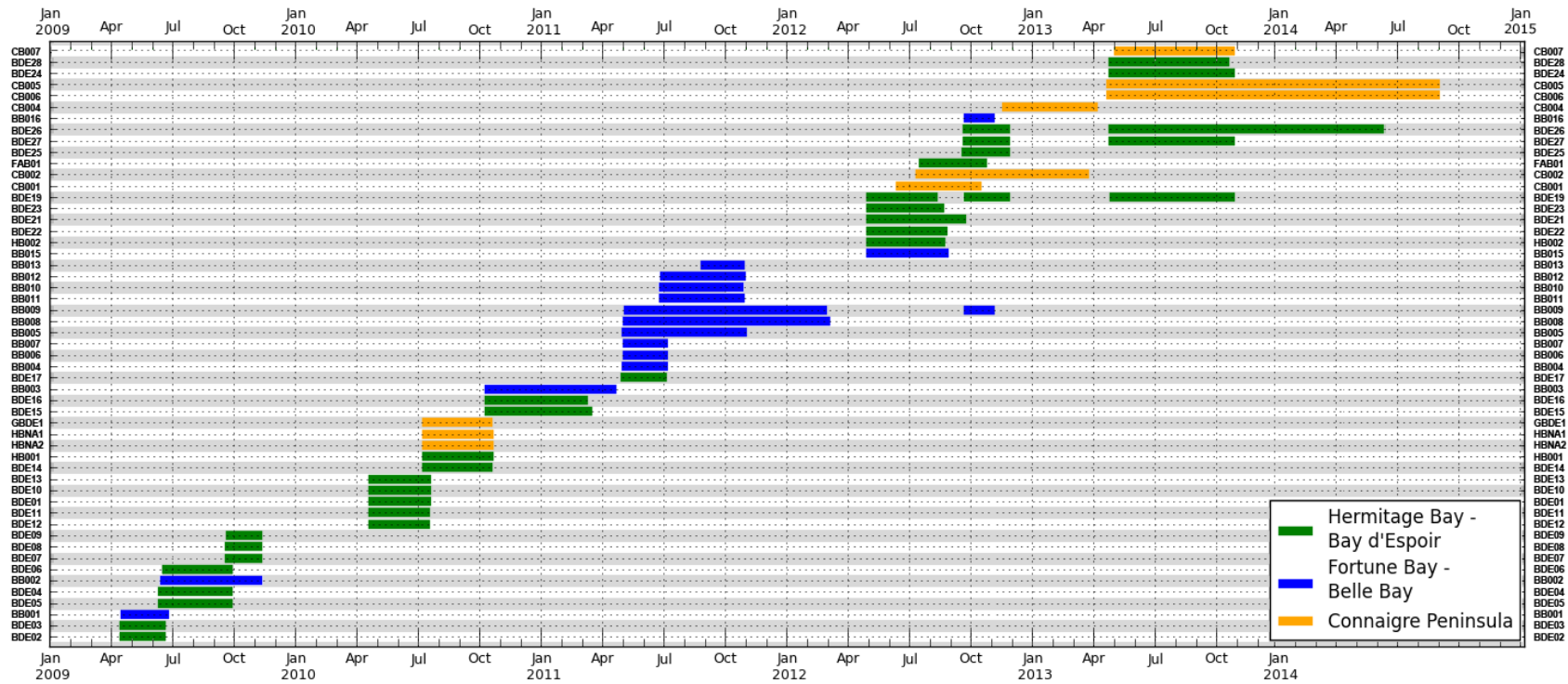
Station	Baie	Position	Date	Durée du déploiement (jours)	Première cellule (en m de profondeur)	Cellule la plus profonde (en m au-dessus du fond de la mer)	Profondeur du site (en m)	Pourcentage de la colonne d'eau échantillonnée
BDE22	BDE	47,9020N 55,8062O	3 mai – 17 août 2012	106	5	6	44	77
BDE23	BDE	47,8659N 55,8017O	3 mai – 12 août 2012	100	6	6	59	81
BDE24	BDE	47,8652N 55,7923O	25 avril – 9 juillet 2013	75	1	3	9	64
BDE24	BDE	47,8653N 55,7920O	11 juillet – 17 octobre 2013	98	1	3	10	58
BDE25	BDE	47,7414N 55,8741O	21 septembre – 18 novembre 2012	58	41	6	88	48
BDE26	BDE	47,7138N 55,9634O	22 septembre – 18 novembre 2012	57	7	6	63	81
BDE26	BDE	47,7138N 55,9634O	26 avril – 9 juillet 2013	74	6	6	67	84
BDE26	BDE	47,7139N 55,9636O	11 juillet – 17 octobre 2013	98	44	6	79	38
BDE26	BDE	47,7138N 55,9634O	18 octobre 2013 – 10 juin 2014	235	4	46	68	28
BDE27	BDE	47,7071N 55,9487O	22 septembre – 18 novembre 2012	57	8	6	73	82
BDE27	BDE	47,7074N 55,9497O	26 avril – 9 juillet 2013	74	6	6	74	85
BDE27	BDE	47,7075N 55,9488O	11 juillet – 17 octobre 2013	98	37	6	71	41
BDE28	BDE	47,6899N 55,9200O	26 avril – 9 juillet 2013	74	-	-	63	-
BDE28	BDE	47,6899N 55,9198O	11 juillet – 8 octobre 2013	89	-	-	69	-
CB001	BC	47,5527N 55,8511O	18 juin – 14 juillet 2012	26	7	6	61	80
CB001	BC	47,5527N 55,8506O	14 juillet – 6 octobre 2012	84	7	6	68	82
CB002	BC	47,5348N 55,8757O	14 juillet – 4 novembre 2012	113	5	5	36	75
CB002	BC	47,5342N 55,8754O	19 novembre 2012 – 14 mars 2013	115	7	6	57	79
CB004	BC	47,5066N 55,8708O	19 novembre 2012 – 28 mars 2013	129	7	6	62	81
CB005	BC	47,5480N 55,8539O	23 avril – 10 juillet 2013	78	8	6	73	82
CB005	BC	47,5484N 55,8542O	10 juillet – 16 octobre 2013	98	7	6	63	81
CB005	BC	47,5481N 55,8538O	4 novembre 2013 – 6 juin 2014	214	9	6	70	80
CB005	BC	47,5489N 55,8540O	6 juin – 6 septembre 2014	92	7	6	65	82
CB006	BC	47,5461N 55,8076O	23 avril – 10 juillet 2013	78	10	6	76	80



Station	Baie	Position	Date	Durée du déploiement (jours)	Première cellule (en m de profondeur)	Cellule la plus profonde (en m au-dessus du fond de la mer)	Profondeur du site (en m)	Pourcentage de la colonne d'eau échantillonnée
CB006	BC	47,5462N 55,8077O	10 juillet – 17 octobre 2013	98	7	6	75	84
CB006	BC	47,5462N 55,8080O	16 octobre 2013 – 8 mai 2014	204	17	6	76	71
CB006	BC	47,5462N 55,8078O	8 mai – 6 septembre 2014	121	8	6	73	82
CB007	BC	47,4712N 55,9791O	4 mai – 16 octobre 2013	165	32	8	87	55
FAB01		47,6244N 56,3360O	18 juillet – 16 novembre 2012	121	7	6	63	81
GBDE1	BC	47,4767N 55,7030O	14 juillet – 12 octobre 2010	90	5	5	39	77
HB001	BH	47,6205N 55,8416O	13 juillet – 13 octobre 2010	92	6	6	58	81
BH002	BH	47,6139N 56,1775O	2 mai – 13 août 2012	103	30	6	68	49
HBNA1	BC	47,5390N 55,7605O	14 juillet – 12 octobre 2010	90	7	6	75	84
HBNA 2	BC	47,5381N 55,7566O	14 juillet – 12 octobre 2010	90	20	6	70	64

## ANNEXE II

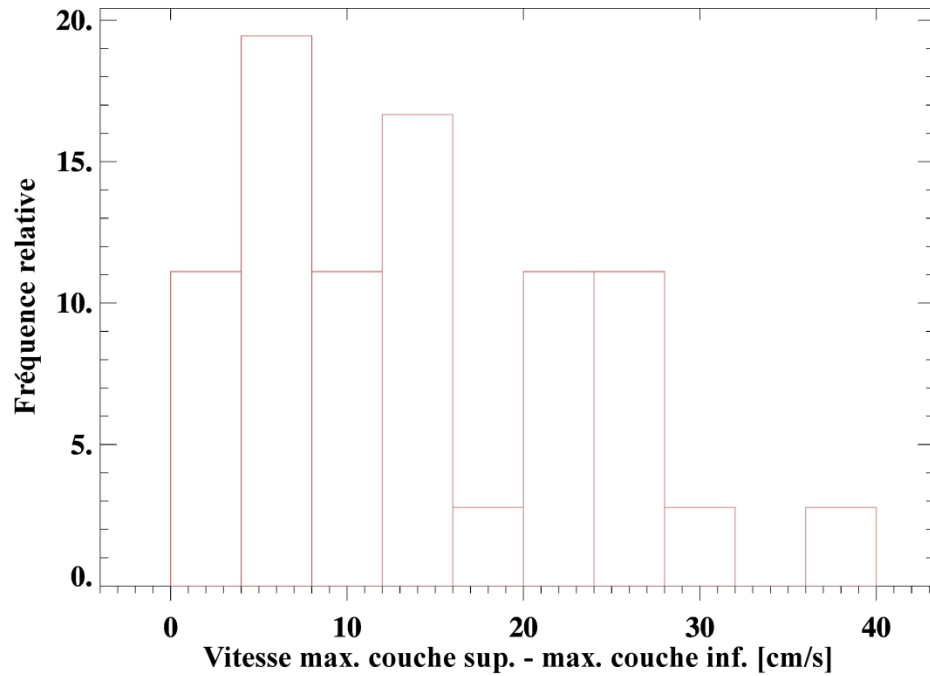
### DIAGRAMME DE GANTT MONTRANT LA PÉRIODE DE MESURE À CHAQUE STATION D'ADCP



---

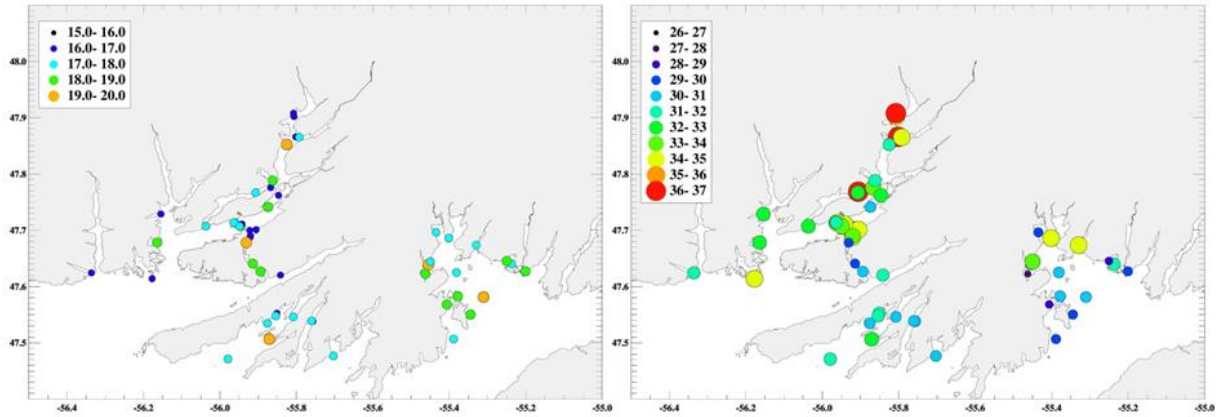
### ANNEXE III

**HISTOGRAMME MONTRANT LES DIFFÉRENCES ENTRE LES VITESSES DU COURANT MAXIMALES DANS LA COUCHE SUPÉRIEURE ET DANS LA COUCHE INFÉRIEURE**

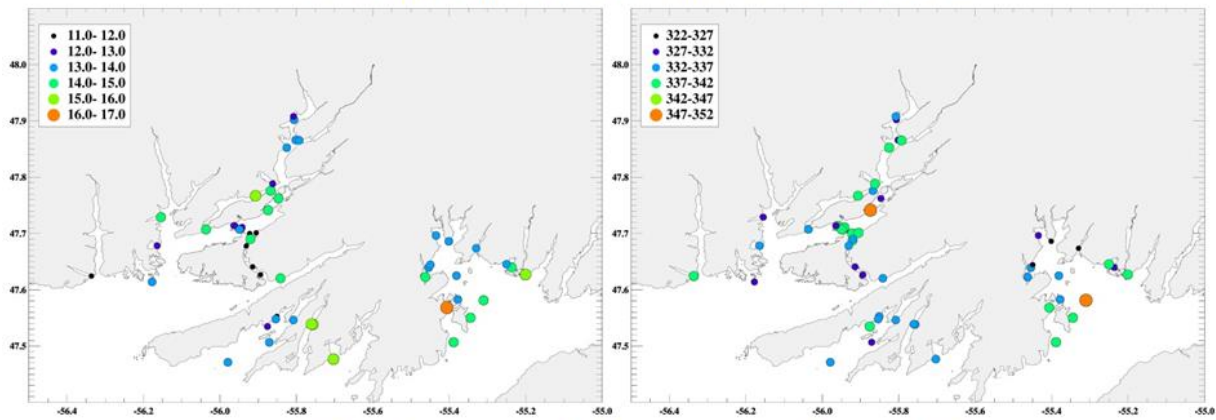


## ANNEXE IV

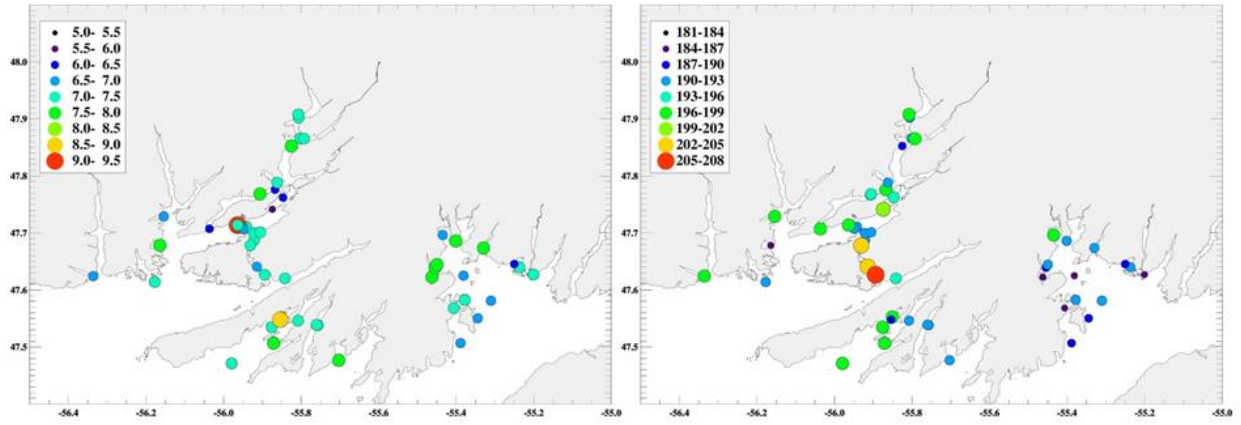
AMPLITUDES ET PHASES DES CONSTITUANTS DE MARÉES S2, N2, O1 ET K1 DANS LA RÉGION DE COAST OF BAYS CALCULÉES À PARTIR DES DONNÉES DU CAPTEUR DE PRESSION DE L'ADCP.



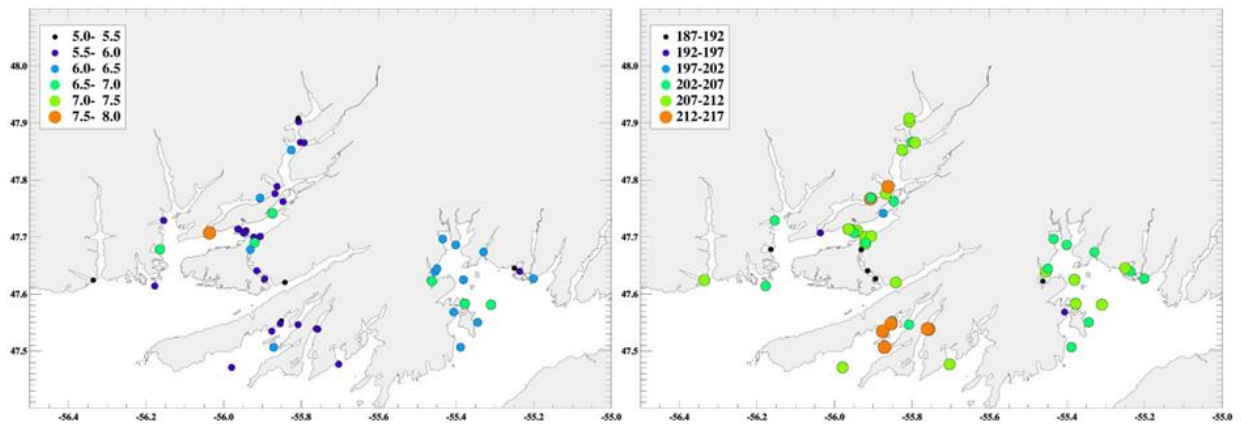
Amplitude [cm] et phase [°] du constituant de marée S2



Amplitude [cm] et phase [°] du constituant de marée N2



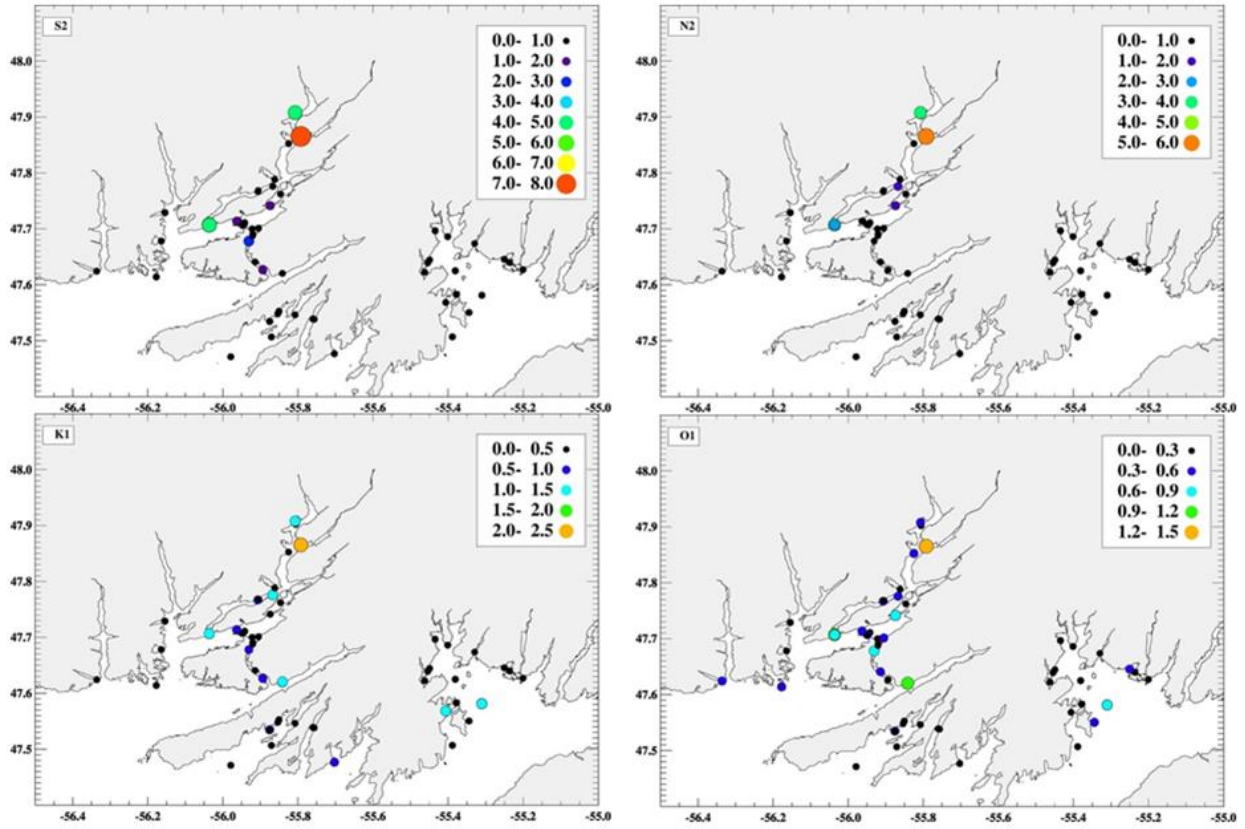
Amplitude [cm] et phase [°] du constituant de marée O1



Amplitude [cm] et phase [°] du constituant de marée K1

## ANNEXE V

### CARTES DE LA VITESSE MAXIMALE POUR LES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DE MARÉES (S2, N2, K1, O1)



Vitesse du courant de marée max. (cm/s) pour les principaux constituants de marées (S2, N2, K1, O1) calculée à partir de la moyenne verticale des courants dans l'ensemble de la colonne d'eau.¶