



ANNEXE III-C-3-2

*GEMS, Observations sur site et modélisation de la dispersion du
panache à proximité de la zone de déversement pour le projet Nickel
Inco Goro dans le canal de la Havannah, Nouvelle Calédonie,
mars 2003*

Projet Nickel INCO Goro

Observations sur site et modélisation de la dispersion du panache à proximité de la zone de déversement pour le projet Nickel INCO Goro dans le Canal de la Havannah, Nouvelle Calédonie

Mars 2003

Compte Rendu 02/03



GLOBAL ENVIRONMENTAL MODELLING SYSTEMS PTY LTD

ABN 28 061 965 339

Coordonnées:**Dr Graeme D. Hubbert**

Directeur Général

Portable +61 (0)418 36 63 36

Email graeme.hubbert@gems-aus.com**Steve Oliver**

Directeur

Portable +61 (0)408 81 8702

Email steve.oliver@gems-aus.com**Bureau de Melbourne**

PO Box 149

Warrandyte VIC 3113

Téléphone +61 (0)3 9712 0016

Fax +61 (0)3 9712 0017

Bureau de Perth

The Hyatt Centre

3rd Floor, 20 Terrace Road

Perth WA 6000

Téléphone +61 (0)8 9326 0211

Fax +61 (0)8 9421 1849

Site Webwww.gems-aus.com

Table des matières:

Résumé	13
1. Introduction.....	18
2. Météorologie régionale	19
3. Océanographie régionale	24
4. Méthodologie des travaux sur le site	26
4.1 Etude bathymétrique	26
4.2 Profils des paramètres physiques et chimiques:	26
4.3 Mesure des courants.....	27
5. Résultats de l'étude bathymétrique	30
6. Résultats des mesures des paramètres physiques et chimiques	33
7. Résultats des compteurs de mesure des courants	33
7.1 Sites d'amarrage du pipeline	36
7.2 Amarrages est.....	36
7.3 Amarrage ouest.....	36
7.4 Amarrages sud	36
7.5 Eléments supplémentaires dans l'analyse des données du courant	36
8. Méthodologie de modélisation de dispersion du panache	67
9. Modélisation des courants océaniques.....	67
9.1 Grilles bathymétriques	69
9.2 Données pour les marées.....	69
10. Vérification de GCOM3D.....	71
11. Modélisation du panache	77
12. Résultats de la modélisation des courants océaniques et du déversement du panache	78
12.1 Modélisation des courants par GCOM3D.....	78
12.2 Modélisation du déversement du panache par PLUME3D.....	79
13. Conclusions	93
13.1 Programme de mesures	93
13.2 Modélisation de la dispersion du panache	94

13.2.1	Conclusions générales	94
13.2.2	Comparaison des sites de déversement	95
14.	Références	96
Annexe A: Profil de la société GEMS		97
Annexe B: Résultats de l'Hydrolab		101

Liste de tableaux

Tableau 1:	Spécifications de l'Hydrolab H2O.	27
Tableau 2:	Sites d'amarrage, profondeurs, dates d'installation et durées	33
Tableau 3:	Description de tous les sites d'amarrage.	34
Tableau 4:	Résumé des paramètres d'installation du modèle utilisé pour la modélisation hydrodynamique.	78
Tableau 5:	Caractéristiques du projet de déversement océanique INCO Goro dans le Canal de la Havannah.....	79
Tableau 6 :	Dilution à proximité du site en fonction de la vitesse du courant	80
Tableau 7:	Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P2.....	92
Tableau 8:	Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P3.....	92
Tableau 9:	Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P0.....	92
Tableau B.1:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E3 le 29 novembre, 2002.	101
Tableau B.2:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E3 le 2 décembre, 2002.	102
Tableau B.3:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E4 le 29 novembre, 2002.	103
Tableau B.4:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E4 le 2 décembre, 2002.	104
Tableau B.5:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P1 le 22 novembre, 2002.	105
Tableau B.6:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P2 le 21 novembre, 2002.	106
Tableau B.7:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P2 le 8 décembre, 2002.	107
Tableau B.8:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P3 le 22 novembre, 2002.	109
Tableau B.9:	Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P3 le 26 novembre, 2002	110

Tableau B.10: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P4 le 26 novembre, 2002	111
Tableau B.11: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P4 le 29 novembre, 2002	112
Tableau B.12: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S1 le 2 décembre, 2002	113
Tableau B.13: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S1 le 6 décembre, 2002	114
Tableau B.14: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S2 le 22 novembre, 2002.	116
Tableau B.15: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S2 le 26 novembre, 2002.	117
Tableau B.16: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S3 le 29 novembre, 2002.	118
Tableau B.17: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S3 le 29 novembre, 2002.	119
Tableau B.18: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage W1 le 2 décembre, 2002.	120
Tableau B.19: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage W1 le 6 décembre, 2002.	121

Liste des schémas

Schéma 1.1:	Canal de la Havannah montrant le site prévu pour le pipeline de déversement Inco Goro.....	18
Schéma 2.1:	Trajectoires des cyclones tropicaux 1950-2000.....	20
Schéma 2.2:	Rose des Vents pour le Canal de la Havannah dérivée du modèle de prévisions du Bureau Australien de Météorologie (LAPS)	22
Schéma 2.3:	Tabulation de la Rose des Vents pour le Canal de la Havannah dérivée du modèle de prévisions du Bureau Australien de Météorologie (LAPS).....	23
Schéma 3.1:	Prédictions GCOM3D des courants de surface dans le Canal de la Havannah dans des conditions typiques de marée montante	25
Schéma 3.2:	Prédictions GCOM3D des courants de surface dans le Canal de la Havannah dans des conditions typiques de marée descendante	25
Schéma 4.1:	Plan de l'emplacement proposé pour les sites.....	28
Schéma 4.2:	Photo du compteur de mesure du courant dans sa structure, cordes d'amarrage, bouées et poids.....	29
Schéma 4.3:	Configuration des sites d'amarrage.....	29
Schéma 5.1:	Transects de l'étude bathymétrique	30
Schéma 5.2:	Contours bathymétriques de surface dérivés à l'aide de Vertical Mapper de Mapinfo	31
Schéma 5.3:	Etudes bathymétriques préliminaires exécutées par URS et Rescan, et emplacement proposé pour le déversement	32
Schéma 7.1:	Emplacement des amarrages sur le Canal de la Havannah. L'amarrage long terme était à P2.....	38
Schéma 7.2:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1	39
Schéma 7.3:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1	39
Schéma 7.4:	Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1	40
Schéma 7.5:	Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1	40

Schéma 7.6:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2	41
Schéma 7.7:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2	41
Schéma 7.8:	Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2	42
Schéma 7.9:	Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2	42
Schéma 7.10:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3	43
Schéma 7.11:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3	43
Schéma 7.12:	Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3	44
Schéma 7.13:	Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3	44
Schéma 7.14:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4	45
Schéma 7.15:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4	45
Schéma 7.16:	Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4	46
Schéma 7.17:	Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4	46
Schéma 7.18:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1	47
Schéma 7.19:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1	47
Schéma 7.20:	Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1	48
Schéma 7.21:	Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1	48
Schéma 7.22:	Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2	49
Schéma 7.23:	Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2	49

Schéma 7.24: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2	50
Schéma 7.25: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2	50
Schéma 7.26: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3	51
Schéma 7.27: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3	51
Schéma 7.28: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3	52
Schéma 7.29: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3	52
Schéma 7.30: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1.....	53
Schéma 7.31: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1.....	53
Schéma 7.32: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) W1.....	54
Schéma 7.33: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1.....	54
Schéma 7.34: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) S1	55
Schéma 7.35: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1	55
Schéma 7.36: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1	56
Schéma 7.37: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1	56
Schéma 7.38: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2	57
Schéma 7.39: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2	57
Schéma 7.40: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2	58
Schéma 7.41: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2	58

Schéma 7.42: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3	59
Schéma 7.43: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3	59
Schéma 7.44: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3	60
Schéma 7.45: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3	60
Schéma 7.46: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4	61
Schéma 7.47: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4	61
Schéma 7.48: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4	62
Schéma 7.49: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4	62
Schéma 7.50: Rose des courants dérivée des mesures prises à l'amarrage de 30 jours à P2	63
Schéma 7.51: Comparaison des vitesses des courants de surface à P2 (verts) et à P3 (rouges)	64
Schéma 7.52: Vitesse du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)	64
Schéma 7.53: Direction du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)	65
Schéma 7.54: Eléments nord-est du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)	65
Schéma 7.55: Eléments nord-ouest du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)	66
Schéma 10.1: Emplacement des sites d'amarrage dans le canal de la Havannah. Le site long terme prévu pour le diffuseur était à P2	72
Schéma 10.2: Comparaison des niveaux de la mer prédits par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002	73
Schéma 10.3: Comparaison des vitesses des courants près de surface le long du Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.	73

Schéma 10.4: Comparaison des vitesses des courants près de surface transversaux dans le Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.	74
Schéma 10.5: Comparaison des directions des courants prédites par GCOM3D (vert) avec les niveaux de la mer (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.	74
Schéma 10.6: Comparaison des vitesses des courants près de surface le long du Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à l'extrémité est (E1) pendant 5 jours à partir de 16.00 le 11 novembre, 2002.	75
Schéma 10.7: Comparaison du trajet de dérive prédit par GCOM3D (rouge) avec la dérive observée (noire) d'un drifter lâché à (R) à 1259 le 28 février, 2003.....	75
Schéma 10.8: Le trajet en surface prédit par GCOM3D (avec seulement la force de la marée) pour le drifter lâché à (R) à 1259 le 28 février, 2003.....	76
Schéma 10.9: Comparaison du trajet de dérive prédit par GCOM3D (rouge) avec la dérive observée (noire) d'un drifter lâché à 1003 le 28 février, 2003....	76
Schéma 12.1: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 6 janvier, 2003 à P2.	82
Schéma 12.2: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 6 janvier, 2003 à P3.	82
Schéma 12.3: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 janvier, 2003 à P2.	83
Schéma 12.4: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 janvier, 2003 à P3.	83
Schéma 12.5: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 20 avril, 2003 à P2.....	84
Schéma 12.6: Concentration maximale de manganès dans la colonne d'eau le 20 avril, 2003 à P3.	84
Schéma 12.7: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, 2003 à P2.....	85
Schéma 12.8: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, 2003 à P3.....	85
Schéma 12.9: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P2.	86
Schéma 12.10:Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P3	86

Schéma 12.11: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P2.	87
Schéma 12.12: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P3	87
Schéma 12.13: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 8 octobre, à P2.	88
Schéma 12.14: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 8 octobre, à P3.	88
Schéma 12.15: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 31 octobre, à P2.	89
Schéma 12.16: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 31 octobre, à P3.	89
Schéma 12.17: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, à P0.	90
Schéma 12.18: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, à P2.	90
Schéma 12.19: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P0.	91
Schéma 12.20: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P2.	91

Résumé

URS (Australie) a été engagé par Bechtel Technip Hatch (BTH) pour effectuer les travaux de mesure et la modélisation de la dispersion du panache dans le Canal de la Havannah en Nouvelle-Calédonie pour le projet de raffinerie Nickel INCO GORO. Ces mesures sont nécessaires pour une meilleure compréhension des mouvements du courant à proximité du pipeline de déversement prévu et le long du couloir où le panache de déversement se dispersera. Il est également nécessaire de prendre les mesures des structures et densité de la bathymétrie et de la température. Global Environmental Modelling Systems (GEMS) a été engagé comme sous-traitant par URS pour la conception du dispositif de mesures pour ce projet et pour l'analyse des données. Un bref profil de la Société GEMS se trouve en annexe A.

En complément de son programme sur le site, GEMS est aussi chargé, par l'intermédiaire d'URS, d'exécuter la modélisation de la dispersion dans les zones plus éloignées pour suivre la destinée du panache déchargé par le diffuseur de déversement. Les concentrations probables de manganèse en particulier, doivent être déterminées.

La gamme de travaux sur le site exige :

- a) qu'une étude bathymétrique de résolution de la trajectoire soit faite le long d'une extension du trajet du pipeline prévu pour le moment. Il est proposé d'étudier une section de 2 km de long et de 400m de large qui s'étendrait au sud est du site actuellement prévu pour le diffuseur.
- b) que des profils de la température et de la conductivité soient mesurés au moment de la mise en place et de l'enlèvement des compteurs de mesure du courant sur les sites d'amarrage. Le but de cet aspect de l'étude est de mettre en évidence une éventuelle stratification pendant chaque période de mesure.
- c) que des profils de la vitesse et de la direction du courant soient dressés pour un maximum de 15 sites d'amarrage sur le Canal de la Havannah. Il est projeté d'établir un de ces amarrages près de l'emplacement prévu pour le diffuseur pendant au moins 30 jours, et deux autres amarrages doivent être régulièrement intervertis aux autres sites pendant au moins 1 jour.

L'étude bathymétrique préliminaire a été effectuée par une sonde Simrad; les profils des paramètres physiques et chimiques de l'eau de mer ont été mesurés à intervalles de un mètre avec une multisonde de qualité de l'eau Hydrolab H2O ; les profils verticaux des

courants ont été mesurés avec trois Profileurs Accoustique de Courant Doppler (ADCP) monté sur une structure et mis en place au sein d'un dispositif d'amarrage conçu dans ce but. En fonction des facteurs contextuels, tels la condition de la mer et la disponibilité des bateaux, la durée de chaque amarrage varie en général entre 2 et 6 jours.

Les résultats de l'étude bathymétrique, bien qu'encore au stade préliminaire, concordent avec les études détaillées effectuées par RESCAN dans le couloir projeté pour le pipeline.

Les profils verticaux de température et autres paramètres physico-chimiques ne montraient qu'une faible variation dans la colonne d'eau. La stratification était très faible ou inexistante.

Le programme actuel de mesure des courants a fourni une bonne représentation de la circulation des courants dans le Canal de la Havannah. Des courants forts (plus de 3 nœuds) ont été observés à l'entrée est du couloir, alors que sur le site prévu pour le diffuseur (site P2), les courants maximum étaient de 1,5 nœuds et proches de la surface, pendant la période de mesure de 31 jours. Sur ce même site, les courants de fond atteignaient un maximum de 1,1 nœuds pendant cette période.

Les courants les plus forts le long du transect du pipeline ont été mesurés au site P3, qui se trouve à environ 2 km au sud sud est de l'emplacement prévu pour le diffuseur. Le courant maximum mesuré à P3 pendant les 4 jours de mesures était de 1,9 nœuds. Une comparaison directe avec les courants à P2 pour la même période a montré que la vitesse des courants était en général de 20 à 25% plus élevée.

Les courants mesurés à l'extrémité ouest du couloir étaient comparables avec ceux de P2, alors que les courants traversant les limites sud du couloir étaient beaucoup plus faibles que ceux mesurés dans le couloir même.

La société GEMS a utilisé la modélisation marine GEMS 3D, GCOM3D, et le modèle de panache GEMS 3D, PLUME3D pour l'étude de dispersion du panache qu'elle a entreprise. GCOM3D a été utilisé pour la modélisation des courants marins pendant 12 mois, en utilisant pour cela les données des vents fournies par le système de prévision du Bureau Australien de Météorologie pour 2001 (l'agence officielle de prévision

météorologique pour cette zone est Météo France, mais aucune donnée émanant de leur modèle n'était disponible pour ces travaux).

Pour l'exécution de la modélisation du panache de déversement, il était nécessaire d'établir en premier lieu que GCOM3D avait la capacité de représenter les courants marins avec suffisamment d'exactitude. Dans ce but, trois études distinctes de vérification ont été mises en place :

- a) Une période d'essai (du 24 novembre au 1er décembre, 2002) a été choisie sur la base des compteurs de courant au site d'amarrage de 30 jours (P2 sur [Schéma 10.1](#)) à proximité du diffuseur de déversement prévu. Les informations sur les vents pour cette période ont été extraites des archives GEMS des résultats fournis par le modèle LAPS, et GCOM3D a été mis en opération sur la grille bathymétrique 250m définie dans le schéma 10.1 sur la base des vents et des marées.
- b) Le même processus a été mis en place pour la période d'observation de 5 jours au site d'amarrage E1 à l'entrée est du couloir, à où les courants les plus forts avaient été observés
- c) Des informations ont été fournies par le client au sujet d'un certain nombre de trajectoires de dérive temporaires à proximité du couloir du pipeline et les prédictions de GCOM3D ont été comparées avec les données sur deux de ces trajectoires.

Dans les trois études de vérification, la concordance entre les prédictions du modèle et les observations était excellente, établissant de façon incontestable que la simulation à long terme des courants dans le Canal de la Havannah pour le déversement du panache constituait une bonne représentation de la réalité des mouvements des courants.

Le mélange des produits déversés et de l'environnement océanique peut être considéré à deux niveaux: à proximité du déversoir et dans les zones plus éloignées. Le mélange à proximité prend place près du diffuseur, à l'endroit où le flot des produits déversés se mêle à l'environnement marin. Il est fonction de la configuration du diffuseur et des conditions océaniques.

Le déversement à proximité n'a pas été simulé dans cette étude. Les données initiales pour le mélange à proximité ont été fournies par BTH sur la base d'études conduites par

Roberts (2003) sur la vitesse des courants le long du Canal de la Havannah. Les concentrations de manganèse après dilution initiale ont été obtenues en divisant la concentration de manganèse dans les déchets bruts par la dilution à proximité, calculée en fonction de la vitesse du courant.

La modélisation pour le déversement dans les zones plus éloignées pour deux sites de déversement du panache (P2 and P3) a été exécutée pendant les 12 mois de l'année 2001 en utilisant les champs tridimensionnels de données horaires pour les courants de GCOM3D. Les résultats de la modélisation du panache ont conduit aux conclusions suivantes :

- La concentration maximale de manganèse pour cette période de 12 mois était de 0.28mg/l.
- Pendant la plus longue partie de l'année, la moyenne journalière de concentration de manganèse était de 0.10mg/l.
- Durant les mois d'été, en l'absence de vents alizés, il y a une circulation significative du panache vers le nord-est et vers le sud-ouest.
- Durant les mois d'hiver, les alizés causent davantage de mouvement vers le sud-ouest.
- Lors de son déplacement vers le nord-est, le panache sort du Canal de la Havannah en flot plus étroit que lors de son déplacement vers le sud-ouest où il se déploie plus largement, augmentant ainsi les taux de dilution.
- Le déversement à P3 tend à maintenir le panache plus près du centre du Canal de la Havannah que le déversement à P2. La caractéristique d'un tel résultat est une meilleure dispersion et donc des concentrations moindres le long de la côte.
- Le déversement à P3 produisait de plus fortes concentrations près du Banc Onontea mais des concentrations plus faibles dans la zone de Port Boise que le déversement à P2 (or P0).
- Le déversement à P2 produisait de plus fortes concentrations au Récif Ioro que le déversement à P3.
- Le déversement à P0 produisait de plus fortes concentrations à proximité de la côte et des caractéristiques de dispersion inférieures à celles de P2.

Sur la base des résultats ci-dessus, il semble certain que:

- a) Le site de déversement proposé à P2 est préférable au site situé 500m plus près de la côte
- b) Déplacer le diffuseur plus avant dans le Canal de la Havannah, de P2 à P3, résulte en une meilleure évacuation et un impact moindre sur la côte et le Récif Ioro. En revanche, les concentrations autour du Banc Onontea augmentent légèrement.

1. Introduction

URS (Australie) a été engagé par Bechtel Technip Hatch (BTH) pour effectuer les mesures et la modélisation de la dispersion du panache dans le Canal de la Havannah en Nouvelle-Calédonie ([Schéma 1.1](#)) pour le projet de raffinerie Nickel INCO GORO. Ces mesures sont nécessaires pour une meilleure compréhension des mouvements du courant à proximité du pipeline de déversement prévu et le long du couloir où le panache de déversement se dispersera. Il est également nécessaire de prendre la mesures des structures et densité de la bathymétrie et de la température. Global Environmental Modelling Systems (GEMS) a été engagé comme sous-traitant par URS pour la conception du dispositif de mesures pour ce projet et pour l'analyse des données. Un bref profil de la Société GEMS se trouve en annexe A.

En complément de son programme sur le site, GEMS est aussi chargé, par l'intermédiaire d'URS, d'exécuter la modélisation de la dispersion dans des zones plus éloignées pour suivre la destinée du panache déchargé par le diffuseur de déversement ([Schéma 1.2](#)). Les concentrations probables de manganèse en particulier, doivent être déterminées.

Ce compte-rendu résume les méthodologies adoptées pour le projet et fournit une analyse des données mesurées et des résultats des vérifications du modèle ainsi que de la modélisation de la dispersion dans les zones éloignées.

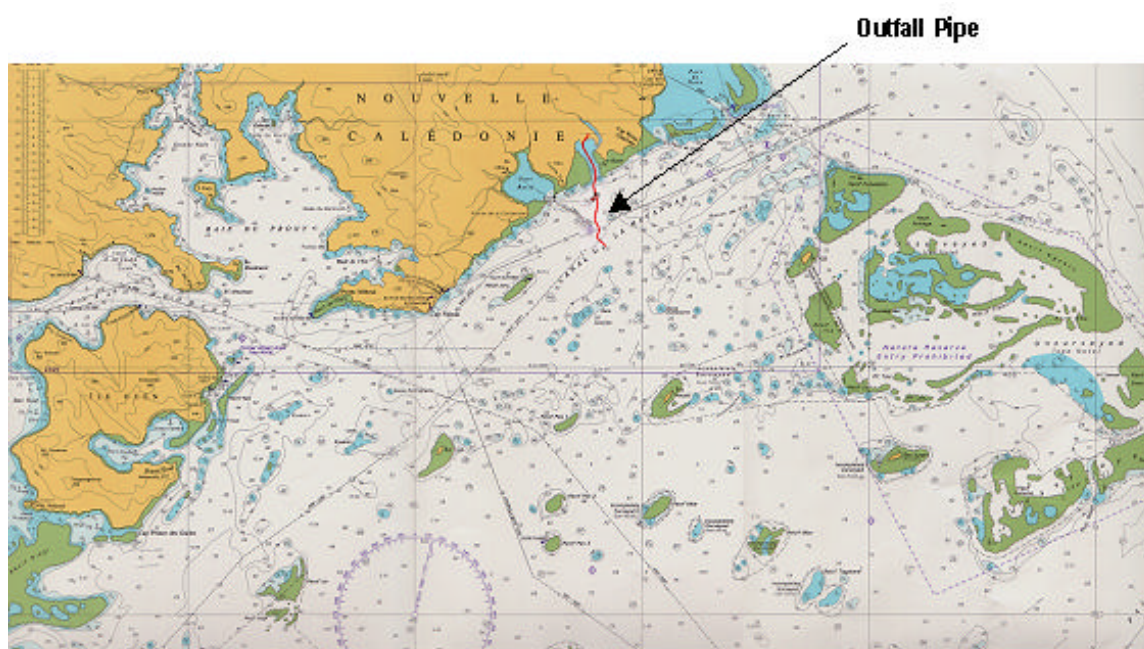


Schéma 1.1: Canal de la Havannah montrant le site prévu pour le pipeline de déversement Inco Goro.

2. Météorologie régionale

Les îles de Nouvelle-Calédonie se trouvent en bordure des tropiques et le climat présente essentiellement deux saisons, avec des conditions douces et printanières tempérées par l'océan pendant la plus grande partie de l'année et relativement peu de variations. La variation la plus grande est de mi-novembre à mi-avril, quand il fait chaud et humide, par opposition à 'l'hiver', de juillet à août, où les conditions sont printanières. Les températures moyennes varient entre 22°C et 28°C.

En hiver, la région est constamment affectée par les vents alizés sud-est, qui sont parfois interrompus par le passage de la pointe nord d'un front froid. Les vents ont une direction nord-ouest à l'avant de ces systèmes puis virent vers le sud-ouest dans leur sillage. Les vents de sud-est sont ainsi rétablis lorsque la haute-pression s'accumule derrière ce système de front. Lorsqu'ils s'étendent sur une large zone de fetch, ces vents de sud-est peuvent produire des vagues significatives et persistantes sur la partie de côte exposée.

En été, les vents tendent à être plus légers, avec les brises marines de l'après-midi qui sont caractéristiques des tropiques et des brises de terre pendant la nuit. Averses et orages augmentent à cette période, avec une activité liée au passage de zones de convection actives traversant les tropiques. Il peut aussi arriver que des zones de basse-pression tropicales pouvant produire des précipitations importantes et des gonflements des eaux, se forment pendant les mois les plus chauds

Cette période (décembre à mars) peut aussi produire des cyclones tropicaux, qui se forment à des latitudes basses mais s'intensifient dans leur mouvement vers le sud. Les trajectoires de certains cyclones entre 1950 et 2000 sont illustrées dans le [Schéma 2.1](#). Les cyclones ont la capacité de causer des vagues considérables et des inondations côtières dans certaines circonstances.

Le programme d'observation du site pour cette étude a été exécuté aux mois de novembre et début décembre.

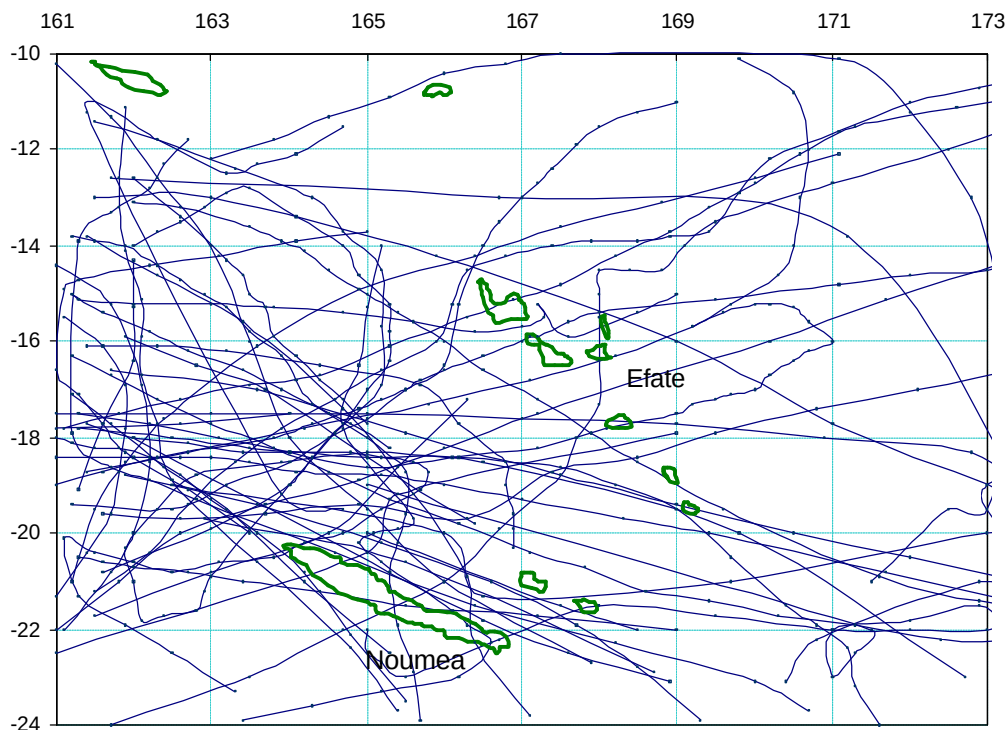


Schéma 2.1: Trajectoires des cyclones tropicaux 1950-2000

Cette étude a délibérément laissé de côté les effets des cyclones tropicaux, parce que ces phénomènes doivent être étudiés séparément des conditions ambiantes, vu le caractère exceptionnellement violent des vents. Une analyse de la modélisation d'un phénomène extrême devrait être réalisée pour déterminer les conséquences probables d'un cyclone tropical.

L'agence officielle de prévisions météo pour la Nouvelle-Calédonie est Météo France, mais aucune donnée de modélisation n'était disponible pour ces travaux. La Nouvelle-Calédonie fait cependant également partie du domaine couvert par le modèle régional de prévisions-LAPS (Système de Prévision de Zone Limitée) du Bureau Australien de Météorologie (BOM). LAPS est intégré au modèle global du BOM –GASP (Système Global d'Assimilation et de Prévision). Les deux modèles fonctionnent deux fois par jour et GEMS a une ligne de connexion directe pour télécharger les données.

Durant la période de mesure du courant, les données sur les vents étaient donc fournies par LAPS et constituent une meilleure alternative que les observations faites dans une

station sur la côte ou sur une île puisqu'elles fournissent des informations sur la variation dans l'espace du champ de données des vents.

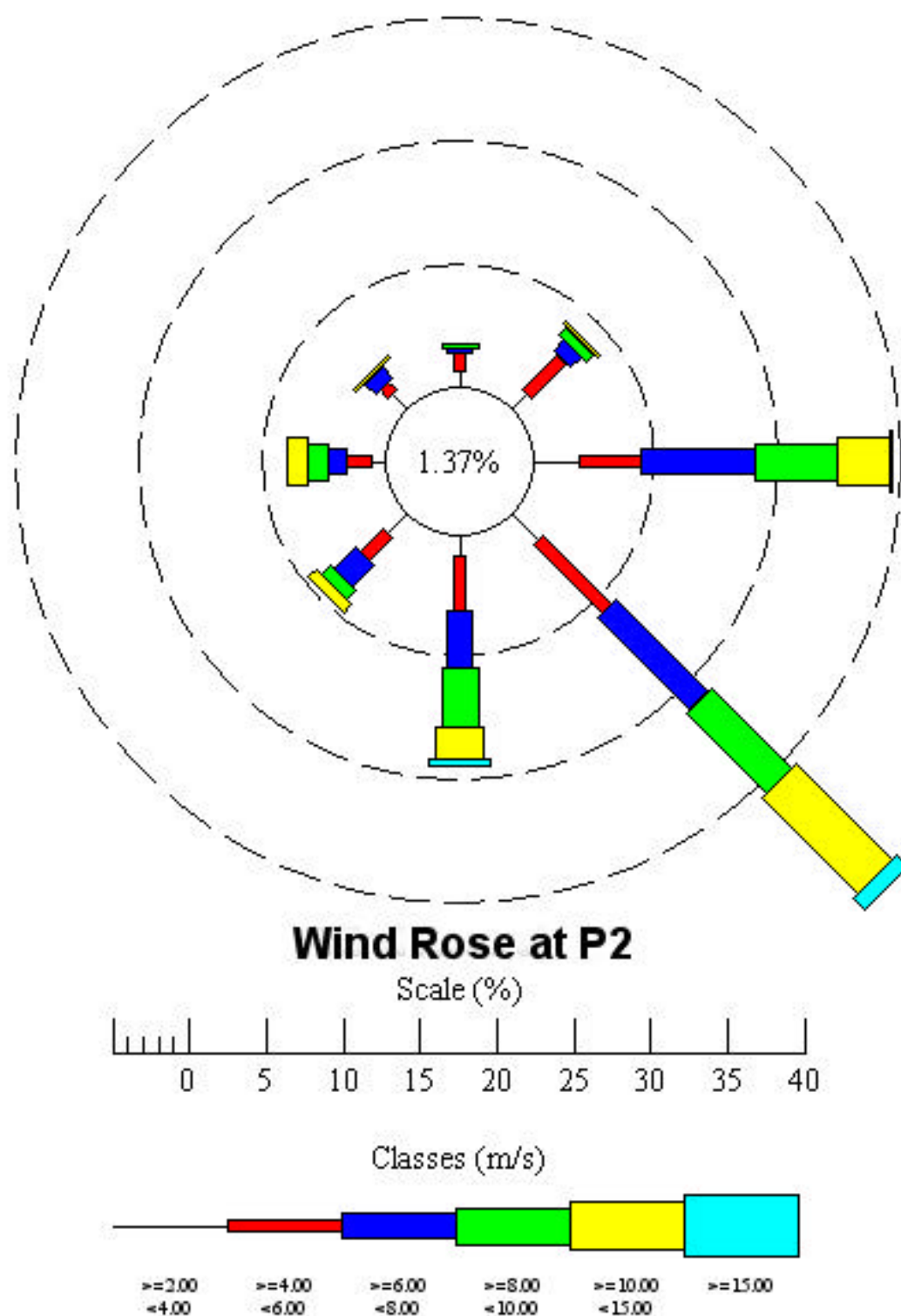


Schéma 2.2: Rose des Vents pour le Canal de la Havannah dérivée du modèle de prévisions du Bureau Australien de Météorologie (LAPS)

Calm (<2.00 m/s)		1.37%		Wind Analysis at P2						
				Classes (m/s)						
		>=2.00	>=4.00	>=6.00	>=8.00	>=10.00	>=15.00			
		<4.00	<6.00	<8.00	<10.00	<15.00				
Direction		Frequency (%)					Total(%)	Min (m/s)	Max (m/s)	Mean (m/s)
N	0.96	1.23	0.27	0.27	0.00	0.00	2.74	2.20	9.60	4.86
NE	1.23	3.28	0.96	0.68	0.27	0.00	6.43	2.00	12.50	5.57
E	2.87	4.10	7.39	5.34	3.42	0.14	23.26	2.20	15.40	7.32
SE	2.33	6.29	8.48	7.39	8.76	1.09	34.34	2.40	27.30	8.39
S	1.23	3.56	3.69	3.97	2.05	0.41	14.91	2.10	16.60	7.57
SW	1.64	2.19	2.05	0.82	0.68	0.00	7.39	2.10	11.00	6.04
W	0.82	1.64	1.23	1.23	1.37	0.00	6.29	2.00	13.30	7.32
NW	1.23	0.82	0.96	0.14	0.14	0.00	3.28	2.20	13.00	5.23
Total	12.31	23.12	25.03	19.84	16.69	1.64	98.63			
Site minimum (m/s)		1.30								
Site maximum (m/s)		27.30								
Site mean (m/s)		7.30								

Schéma 2.3: Tabulation de la Rose des Vents pour le Canal de la Havannah dérivée du modèle de prévisions du Bureau Australien de Météorologie (LAPS)

3. Océanographie régionale

La carte bathymétrique pour la région du Canal de la Havannah indique que : ' La Nouvelle-Calédonie est située au sein du courant subtropical sud, qui se déplace essentiellement vers l'ouest, à des vitesses pouvant atteindre jusqu'à 1,5 nœuds. Des contre-courants peuvent s'établir en conséquence de vents nord ou nord-ouest. A proximité des îles le flot du courant ouest passe au sud des Iles des Pins et dans le Canal de la Havannah et les Passes de la Sarcelle. Des phénomènes intenses et irréguliers se produisent dans ces deux principaux passages. Partout ailleurs dans le récif, le flot est négligeable.'

Les résultats de cette étude démontrent que cette information est inexacte : De fait, les courants dans le Canal de la Havannah (et les Passes de la Sarcelle) sont très forts, atteignant des vitesses de plus de 3 nœuds à l'entrée est, mais la cause principale en est le flot de la marée et non l'incursion du courant sub-tropical sud.

Le fait que la hauteur des marées dans le Canal de la Havannah soit relativement faible (1,5m maximum) est peut-être à l'origine de ce malentendu. La fourchette de hauteur des marées est réduite en raison de l'absence de plateau autour de la Nouvelle-Calédonie. Les courants des marées peuvent cependant être très forts car le 'gonflement' lié à la marée est déplacé d'est en ouest et la masse d'eau issue des profondeurs de l'océan est traînée dans le Canal de la Havannah par la marée montante et relâchée à la marée descendante.

Il se peut que le flot du courant sud sub-tropical entre dans le Canal de la Havannah, bien qu'il n'y ait eu aucune preuve de ce flot pendant la période d'étude. Le flot mesuré dans la zone du diffuseur du pipeline était adéquatement expliqué par le vent et la force de la marée, comme décrit plus loin dans ce compte-rendu

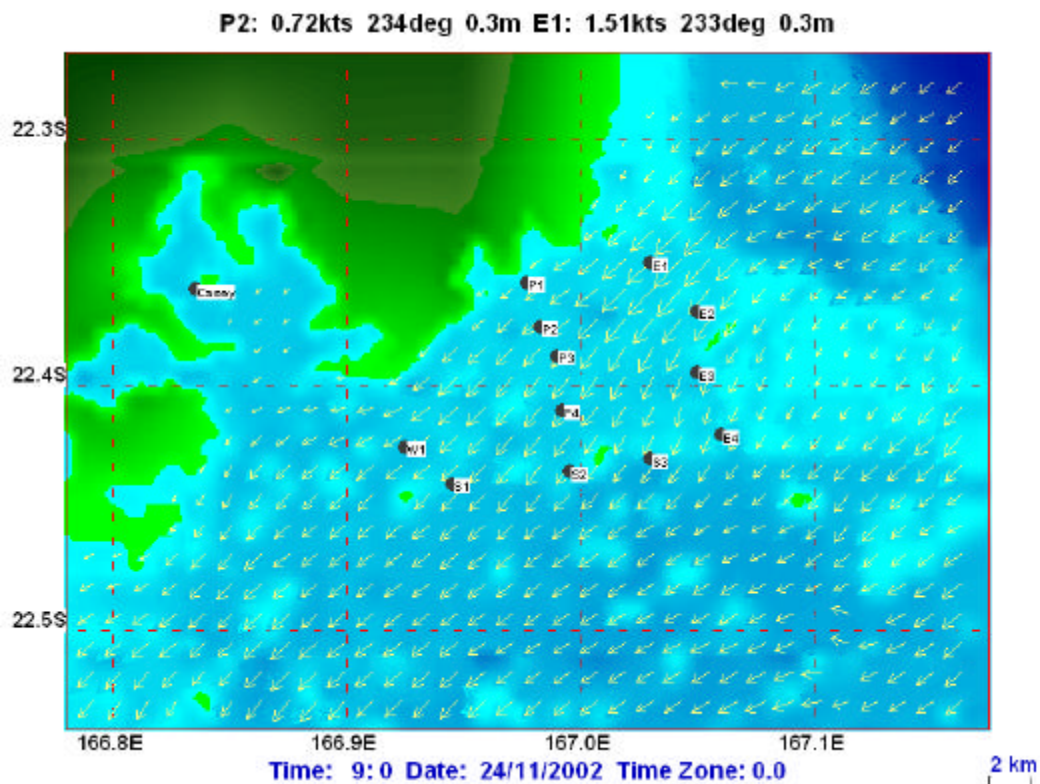


Schéma 3.1: Prédications GCOM3D des courants de surface dans le Canal de la Havannah dans des conditions typiques de marée montante

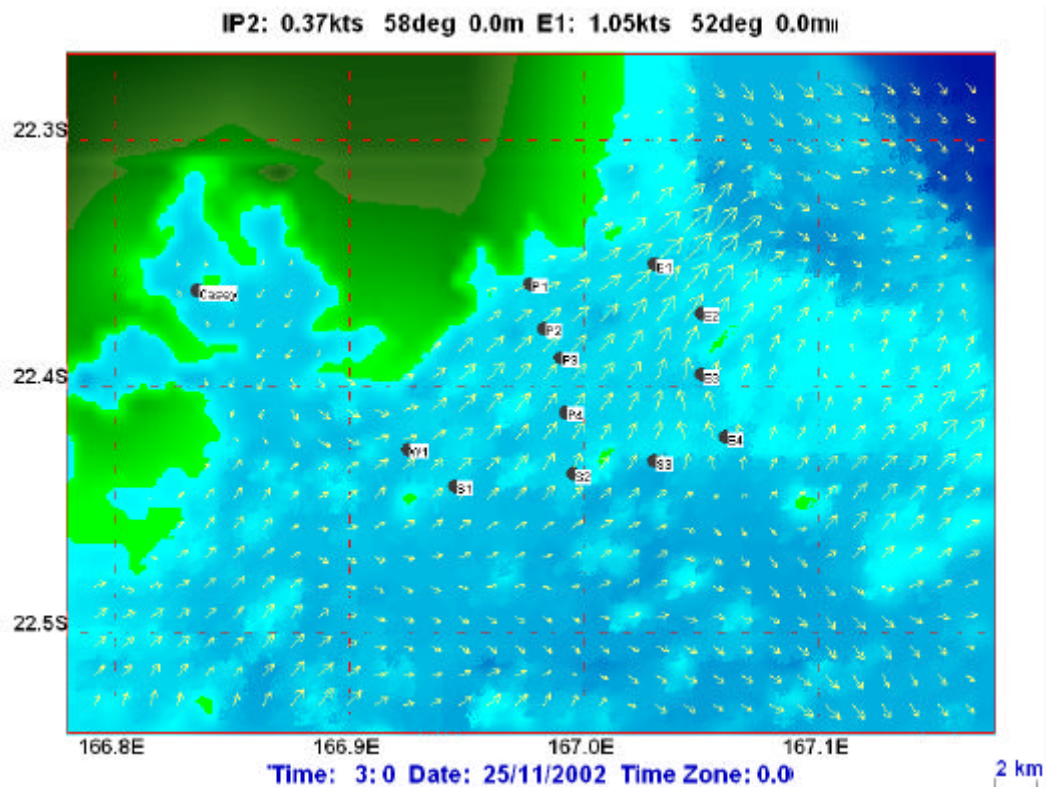


Schéma 3.2: Prédications GCOM3D des courants de surface dans le Canal de la Havannah dans des conditions typiques de marée descendante

4. Méthodologie des travaux sur le site

4.1 Etude bathymétrique

L'objectif des travaux exigeait qu'une étude bathymétrique de résolution de course soit menée le long d'un prolongement de l'itinéraire prévu pour le couloir du pipeline. Il était proposé de faire des observations sur une section de 2km de long et de 400m de large qui s'étend au sud-est du site prévu pour le diffuseur. Les transects mesurés sont représentés sur le schéma 5.1

Les équipements et logiciels utilisés pour obtenir les données sur la hauteur point par point pour l'étude bathymétrique préliminaire comprenaient :

- Garmin GPS12;
- Sonde de profondeur Simrad
- Logiciel Microplot software.

Les données positionnelles fournies par le GPS et les données de profondeur fournies par la sonde étaient téléchargées simultanément sur un ordinateur portable et toutes les données mises en relation avec Microplot (version 7). Les données point par point étaient ensuite reliées à l'aide de Mapinfo Vertical Mapper. L'exactitude de ce programme est de +/- 2 mètres.

4.2 Profils des paramètres physiques et chimiques :

L'objectif des travaux exigeait que les profils des températures et de la conductivité soient mesurés au moment de la mise en place et de l'enlèvement de chaque compteur de mesure du courant. Le but de cet élément de l'étude était d'obtenir une indication de la stratification éventuelle pendant chaque période de mesure.

La température, la conductivité et autres propriétés physico-chimiques de l'eau de mer ont été enregistrées à l'aide d'une multisonde de qualité des eaux Hydrolab H2O. Les détecteurs utilisés ainsi que les spécifications de chaque sonde sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1: Spécifications de l'Hydrolab H2O.

Paramètre	Variation	Précision	Type de détecteur
Température	-5 to 50°C	+/- 0.15°C	Thermistor
Conductivité spécifique	0 to 100mS/cm	+/- 1% of range	Cellule à 6 électrodes
pH	0 to 14 units	+/- 0.2 units	verre pH
Oxygène dissous	0 to 20 mg/L	+/- 0.2mg/L	
Profondeur	0 to 100 m	+/- 0.45m	Transducteur à jauges de contrainte
Salinité	0 to 70 ppt	+/- 0.2ppt	Calculée sur la base de la conductivité spécifique

Les données provenant de la multisonde ont été téléchargées et formatées pour présentation d'un compte-rendu.

Le projet s'est heurté à certaines difficultés quand un câble a cassé à cause des mauvaises conditions de la mer. Le câble de rechange ne faisait que 22 mètres de long et était trop court pour atteindre le fond de tous les sites d'amarrage. Dans ces circonstances, des échantillons d'eau ont été prélevés en utilisant une bouteille Niskin, et analysés pour augmenter la collection de données.

4.3 Mesure des courants

L'objectif de ces travaux exigeait que les profils de vitesse et de direction des courants soient mesurés à un maximum de 15 sites sur le Canal de la Havannah. Un site d'amarrage devait être placé près du site prévu pour le diffuseur pendant au moins 30 jours, et deux autres amarrages devaient être intervertis entre les autres sites pendant au moins un jour. Les sites d'amarrage proposés sont illustrés dans le [Schéma 4.1](#)

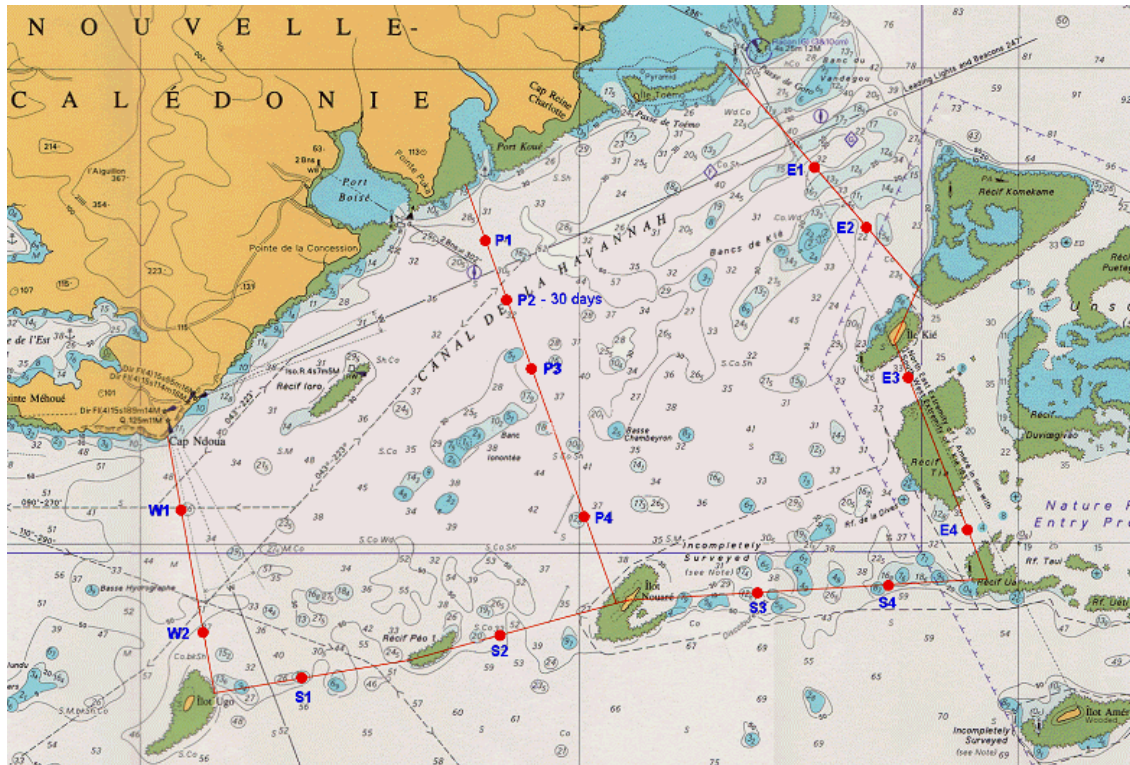


Schéma 4.1: Plan de l'emplacement proposé pour les sites.

En fonction des facteurs contextuels, tels la condition de la mer et la disponibilité des bateaux, la durée de chaque amarrage a varié en moyenne entre 2 et 6 jours. Les mesures ont été prises avec trois Profileurs Acoustiques des Courants Doppler (ADCP) montés sur une structure tel qu'illustré sur le [Schéma 4.2](#). La configuration des sites d'amarrage est illustrée sur le [Schéma 4.3](#).

Les sites d'amarrage ont été mis en place avec un Zodiac de 4 mètres avec des ancres de 60kg sous la bouée de subsurface. La structure d'amarrage contenant l'ADCP a été installée et enlevée par des plongeurs utilisant des ballonnets gonflables. Les plongeurs ont aussi vérifié la configuration du matériel d'amarrage sur le fond et effectué une brève observation du site.



Schéma 4.2: Photo du compteur de mesure du courant dans sa structure, cordes d'amarrage, bouées et poids.

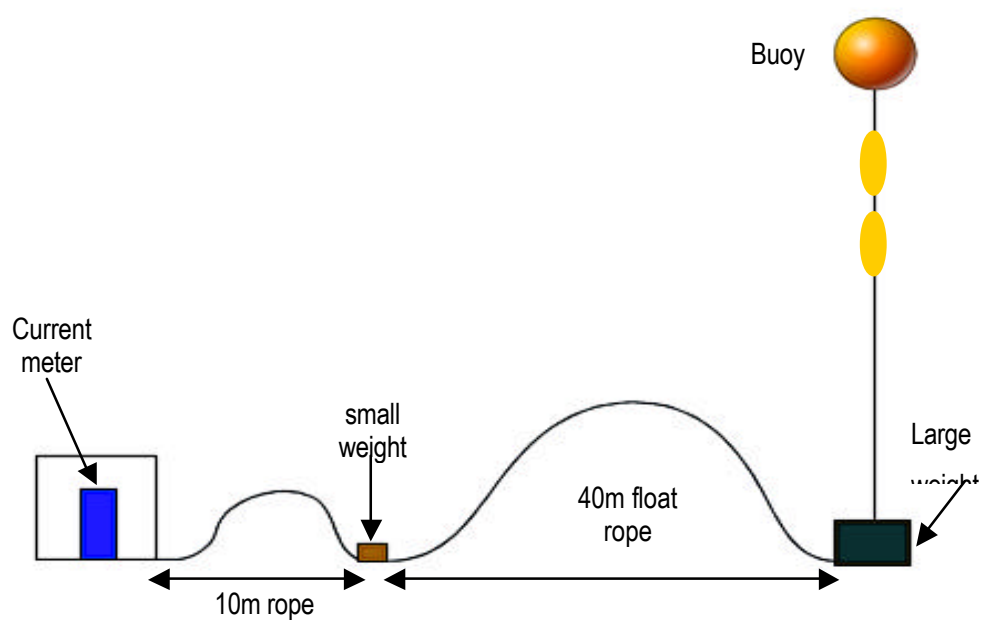


Schéma 4.3: Configuration des sites d'amarrage.

5. Résultats de l'étude bathymétrique

L'étude bathymétrique préliminaire le long de la trajectoire proposée pour l'extension éventuelle du pipeline de déversement a été exécutée le long des transects présentés sur le schéma 5.1 avec la sonde de profondeur Simrad. Les résultats ont été téléchargés dans un ordinateur PC et une surface tridimensionnelle a été développée à l'aide de Vertical Mapper (de Mapinfo). Les résultats sont présentés dans le [Schéma 5.2](#). Le [Schéma 5.3](#) montre ces données combinées à la première étude du couloir du pipeline exécutée par RESCAN.

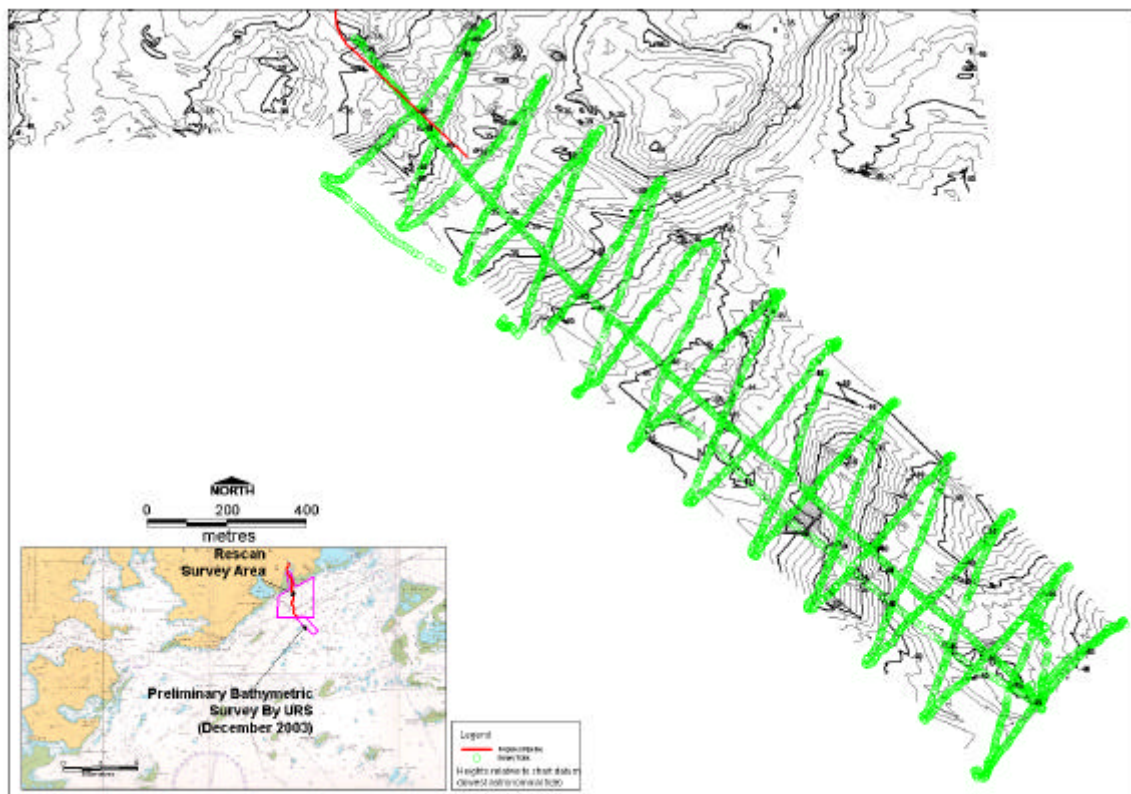


Schéma 5.1: Transects de l'étude bathymétrique

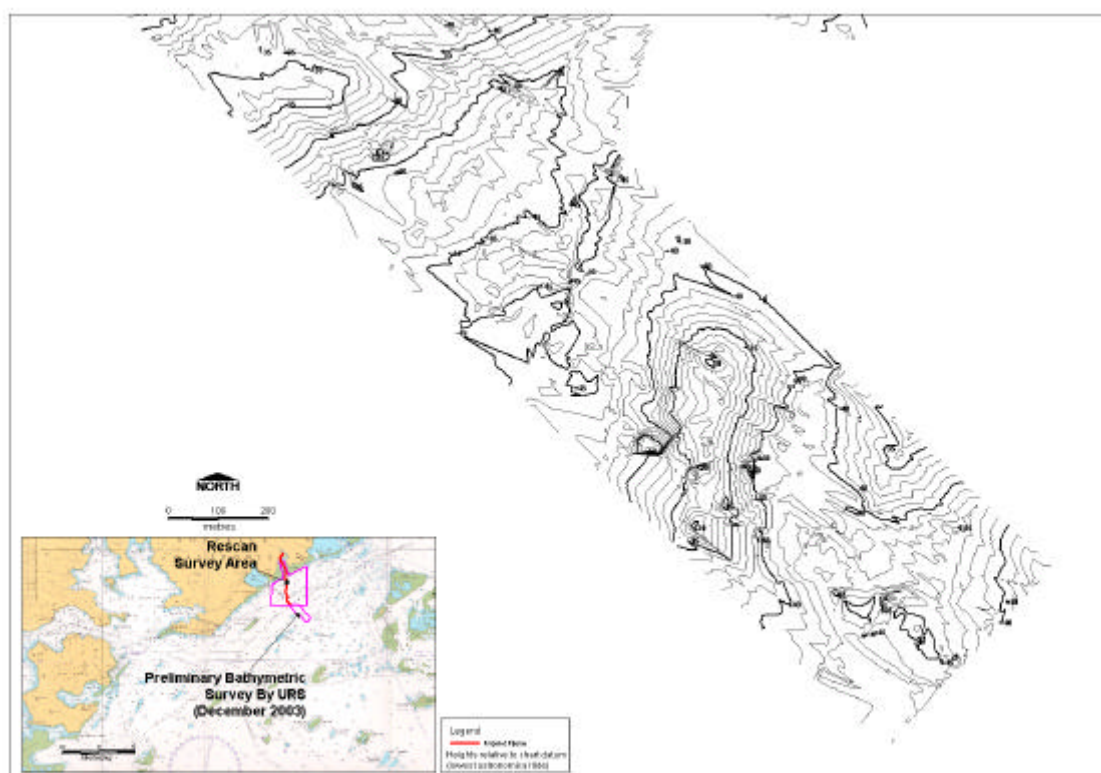


Schéma 5.2: Contours bathymétriques de surface dérivés à l'aide de Vertical Mapper de Mapinfo

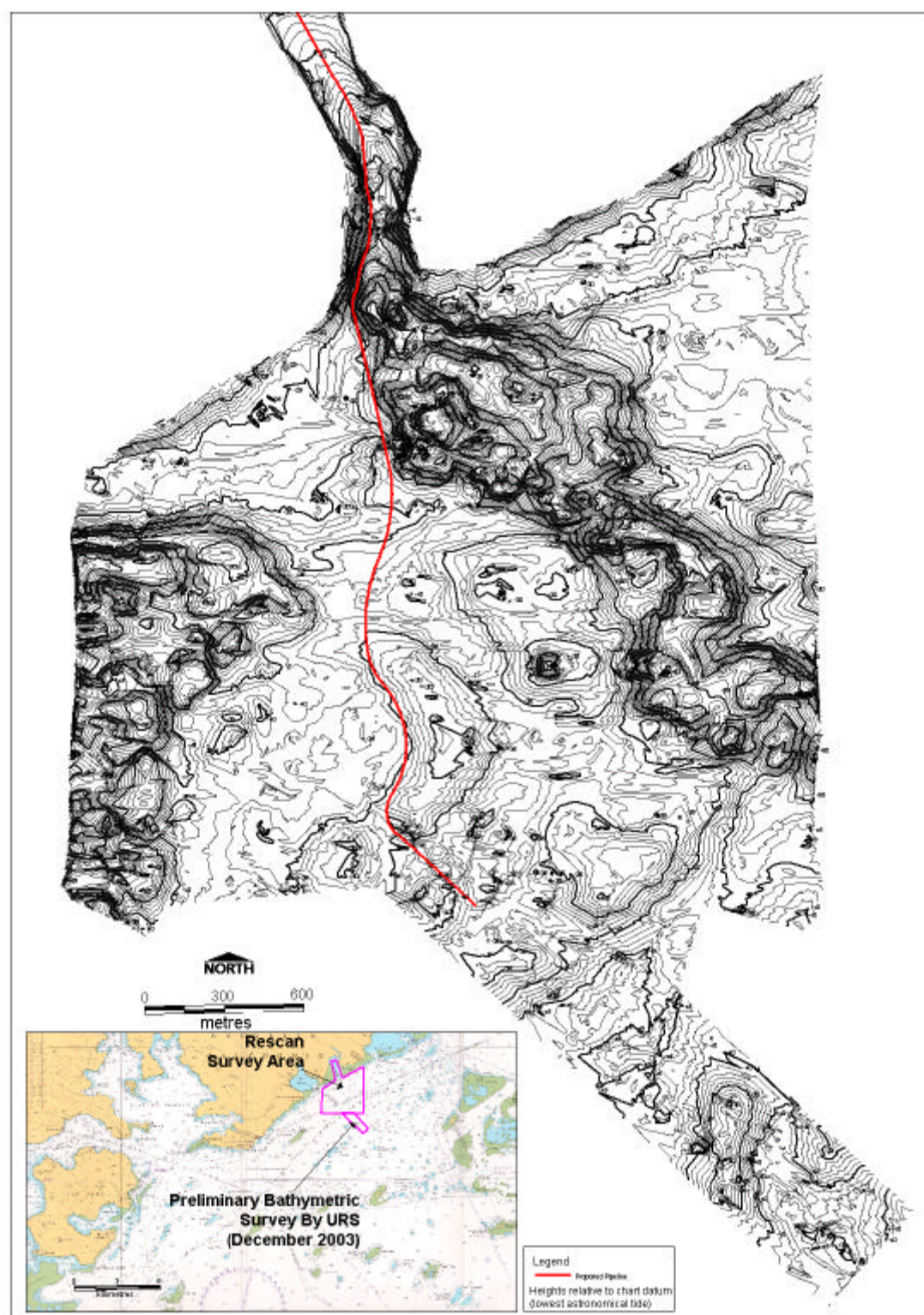


Schéma 5.3: Etudes bathymétriques préliminaires exécutées par URS et Rescan, et emplacement proposé pour le déversement

6. Résultats des mesures des paramètres physiques et chimiques

Profils verticaux des températures, PH, conductivité, salinité et quantité d'oxygène dissous ont été mesurés par l'Hydrolab sur chaque site à la mise en place et à l'enlèvement des amarrages ADCP. Les résultats sont présentés pour chaque site en annexe B, tableaux B1 à B 19. Il faut noter que vu les conditions météo, une seule mesure a pu être effectuée au site P1.

7. Résultats des compteurs de mesure des courants

Les sites d'amarrage ADCP sont présentés sur le [Schéma 7.1](#) avec le site long terme situé à P2. Des données ont été relevées au site long terme pendant 31 jours ainsi qu'à 11 des 13 sites à court terme proposés. Les sites S4 et E4 ont été combinés sur le site E4 et des contraintes de temps et de logistique ont empêché la mise en place d'un site d'amarrage à W2.

Les détails des emplacements des sites d'amarrage, profondeurs, date d'installation et durées sont présentés dans le tableau 2. Les descriptions des sites d'amarrage sont incluses dans le [Tableau 3](#).

Tableau 2: Sites d'amarrage, profondeurs, dates d'installation et durées

Site	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Date de mise en place	Date d'enlèvement	Durées (jours)
P1	-22.35872	166.98106	33	21 Nov 02	22 Nov 02	1
P2	-22.37257	166.99026	36	7 Nov 02 21 Nov 02	21 Nov 02 8 Dec 02	31
P3	-22.38179	166.99521	35	22 Nov 02	26 Nov 02	4
P4	-22.39680	167.00594	28	26 Nov 02	29 Nov 02	3
E1	-22.35176	167.04832	31	11 Nov 02	17 Nov 02	6
E2	-22.36045	167.05852	26	11 Nov 02	17 Nov 02	6
E3	-22.39729	167.04877	35	29 Nov 02	2 Dec 02	3
E4	-22.41937	167.05667	26	29 Nov 02	2 Dec 02	3
S1	-22.44180	166.93661	26	2 Dec	6 Dec 02	4
S2	-22.43454	166.99840	20	22 Nov 02	26 Nov 02	4
S3	-22.42204	167.03159	33	26 Nov 02	29 Nov 02	3
W1	-22.41725	166.94199	32	2 Dec 02	6 Dec 02	4

Tableau 3: Description de tous les sites d'amarrage.

Site	Profondeur	Description du Site
P1	33	Plaine plate formée de débris de corail sous forme de gravier avec une mince couche de vase. Affleurement de formations rocheuses. Biote sessile très clairsemé.
P2	36	Fond de sable moyen avec ondulations douces. Approximativement 75% de la couverture de biote consistant en Halimeda sp. avec éponges éparpillées et coraux tendres et durs. Quelques affleurements de rochers
P3	35	Plaine plate formée de débris de corail sous forme de gravier Affleurement de formations rocheuses jusqu'à 5 m au-dessus du fond à proximité du site. Biote sessile clairsemé. Peu de corail.
P4	28	Situé sur une pente sableuse entourée de débris éparpillés de corail dur. A approximativement 20 m au nord-est, un récif rocheux forme une dénivellation de 5m et continue à s'éloigner de l'ADCP en pente raide. Peu de épibiota est présente dans la zone sableuse avec des algues brunes, plusieurs holothuriens et de petits coraux isolés. La biote présente sur le récif rocheux se compose de coraux durs comme Lobophyllia sp., Turbinaria sp., et Acropora sp., éponges et algues. Présence de nombreux petits poissons coralliens.
E1	31	Terrasses de rochers en pente couverts de débris de corail avec très peu de sable. Biote se composant de coraux durs et tendres, éponges, ascidiens et nombreux poissons.
E2	26	Large ondulations de sable grossier, 3 à 4 mètres de la crête au fond du creux et 10 à 15 m entre chaque crête. Pas d'épibiota ou de bioturbation. Banc de perches présent dans les creux.
E3	35	Situé sur une plaine plate de sable calcaire grossier approximativement 100 m au sud d'une arête rocheuse. Environ 20 à 30% de la couverture de biote consiste en algues basses Padinia sp. avec quelques plaques de corail éparpillées.
E4	26	Situé près du sommet d'une arête rocheuse orientée approximativement est-ouest, dont les côtés descendent abruptement dans les eaux adjacentes à une profondeur d'environ 40 m. Pas de sable dans ce site. La biote comprend de nombreuses gorgones et coraux à fouet et crinoïdes avec une bonne couverture de coraux comprenant Montipora sp., Turbinaria sp. and différents Favids. De nombreux poissons coralliens et des bancs de petits poissons sont également présents.
S1	26	Situé sur une zone plate à approximativement 28 m au sud d'une pente raide de débris coralliens. Les sédiments consistent essentiellement en débris d'Acropora sp. avec sable et vase. La biote inclut plusieurs coraux à fouet, quelques éponges et hydroides et un grand banc de petits poissons. D'une façon générale, très peu de biote présente.

Site	Profondeur	Description du Site
S2	20	Situé au sud d'une arête rocheuse en pente raide. Pas de sable. La biote comprend des coraux durs comme <i>Turbinaria</i> sp., grandes formations de plaques d' <i>Acropora</i> sp. et <i>Montipora</i> sp, gorgones et coraux à fouet et nombreux poissons coralliens.
S3	33	Situé au sud d'une arête rocheuse avec l'ADCP positionné à la base de l'arête sur une zone sableuse plate de sable grossier et gravier avec de la vase. La biote sur l'arête comprend des coraux durs comme <i>Turbinaria</i> sp., <i>Acropora</i> sp. et <i>Montipora</i> sp., crinoides libres, ascidiens, nombreux petits poissons coralliens et un petit banc de carangues.
W1	32	Situé sur une zone plate sableuse entourée d'un récif rocheux en forme de fer à cheval ouvrant vers le sud-ouest. Le récif rocheux affleure de 2 m environ au dessus du sable puis monte en pente douce pendant 3 à 5 m. La zone sableuse fait environ 5 m de diamètre. Les sédiments se composent de sables moyens avec une certaine quantité de vase et des débris de corail dur éparpillés. La biote sur les récifs environnants comprend des coraux durs, des nudibranches, des crinoides, coraux à fouet, coquillages, éponges et occasionnels gorgoniens. La plupart des poissons coralliens sont associés aux récifs environnants. L'épibiota est peu abondante.

Les données provenant des compteurs ADCP de mesure du courant ont été extraites en séries horaires avec des relevés à intervalles de 5 minutes et intervalles verticaux de 1 mètre. Les données ont également été traduites en composantes avec des axes approximativement parallèles et orthogonaux par rapport au Canal de la Havannah.

7.1 Sites d'amarrage du pipeline

Les résultats pour les sites d'amarrage du pipeline (P1, P2, P3, P4) sont présentés en coupe sur les [Schémas 7.2](#) à 7.17 avec des axes maximum de vitesse de 1.0 m/s. Ces schémas comparent les courants proches de la surface avec les courants proches du fond pour la vitesse, la direction et les facteurs longitudinaux et transversaux du canal à chaque site d'amarrage.

7.2 Amarrages est

Les résultats pour les amarrages est (E1, E2, E3) sont donnés par les [schémas 7.18](#) à 7.29 avec des axes de vitesse maximales de 1.5 m/s.

7.3 Amarrage ouest

Les résultats pour l'amarrage ouest (W1) sont donnés par les [schémas 7.30](#) à 7.33 avec des axes de vitesse maximales de 0.7 m/s.

7.4 Amarrages sud

Les résultats pour les amarrages sud (S1, S2, S3, S4) sont donnés par les [schémas 7.34](#) à 7.49 avec des axes de vitesse maximales de 0.7 m/s.

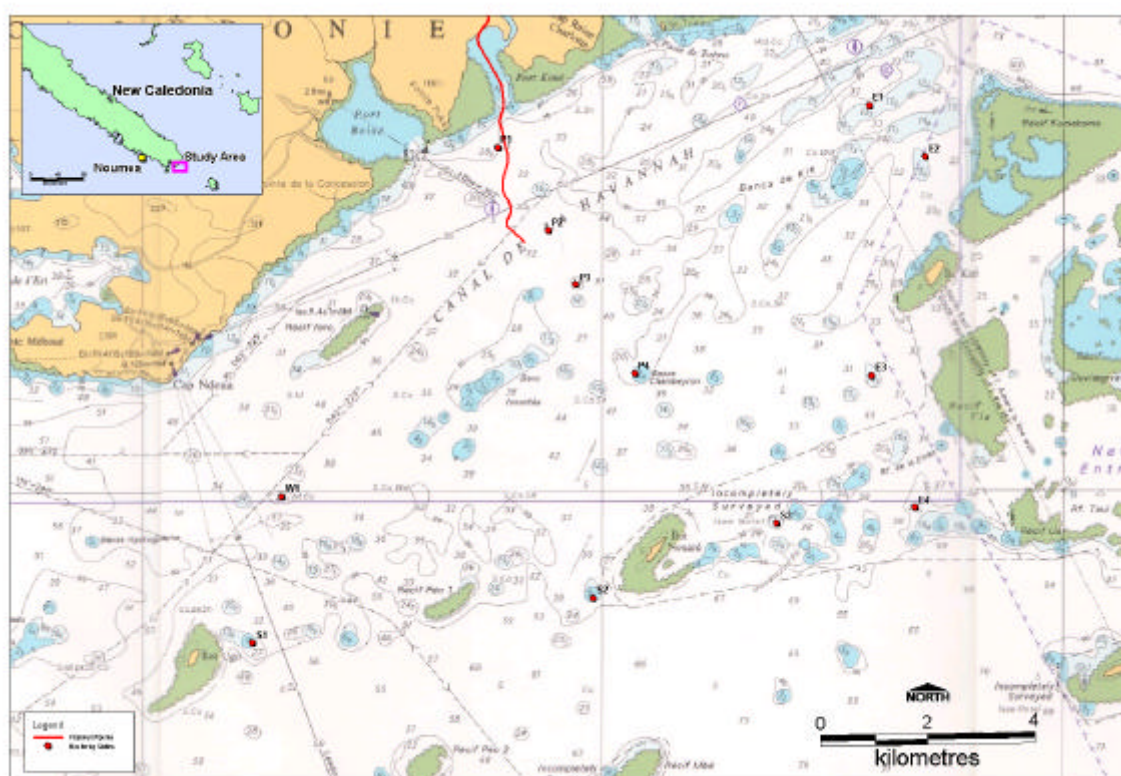
7.5 Eléments supplémentaires dans l'analyse des données du courant

Les résultats démontrent en général que le flot du courant le long du Canal de la Havannah est profondément affecté par les marées et suit en général une direction sud-ouest (marée montante) ou nord-est (marée descendante). Ceci est illustré sur le [schéma 7.50](#) par la rose des courants qui a été dérivée des mesures au site P2

Les courants les plus forts ont été observés à l'entrée est du canal, avec des vitesses maximales de plus de 3 nœuds. En transversalement, les courants les plus forts le long du canal étaient à P3 comme illustré sur le [Schéma 7.51](#), qui illustre la comparaison entre les vitesses du courant à P3 et à P2.

Le vent de sud-est qui soufflait constamment pendant le mois des observations a eu pour résultat un flot de courant supplémentaire vers le sud-ouest qui, comme anticipé, était plus fort en surface qu'au fond. Pour étudier les forces relatives des courants dus à la marée et des courants résiduels, les données à P2 ont été filtrées pour se débarrasser des oscillations dues à la marée. Les [schémas 7.52](#) à 7.55 montrent le courant résiduel de surface restant à P2 relevé avec les données brutes. La force moyenne du courant résiduel pendant les observations était approximativement 0.1 m/s dans une direction sud-ouest. Ce courant résiduel est presque certainement dû aux vents de sud-est qui soufflaient presque constamment sur la région pendant la période des observations. Cette conclusion est renforcée par les études de vérification du modèle de l'océan où il est démontré que la circulation du courant dans le Canal de la Havannah pendant la période d'observation est bien expliquée par le vent et la force de la marée

En conséquence, il n'y avait pendant cette période aucune preuve d'intrusion de 'flots équatoriaux sud' dans le 'Canal de la Havannah'.



(*Pour les schémas suivants : abscisse : temps en heures - ordonnée : vitesse/direction/vitesse des courants)

Schéma 7.1: Emplacement des amarrages sur le Canal de la Havannah. L'amarrage long terme était à P2.

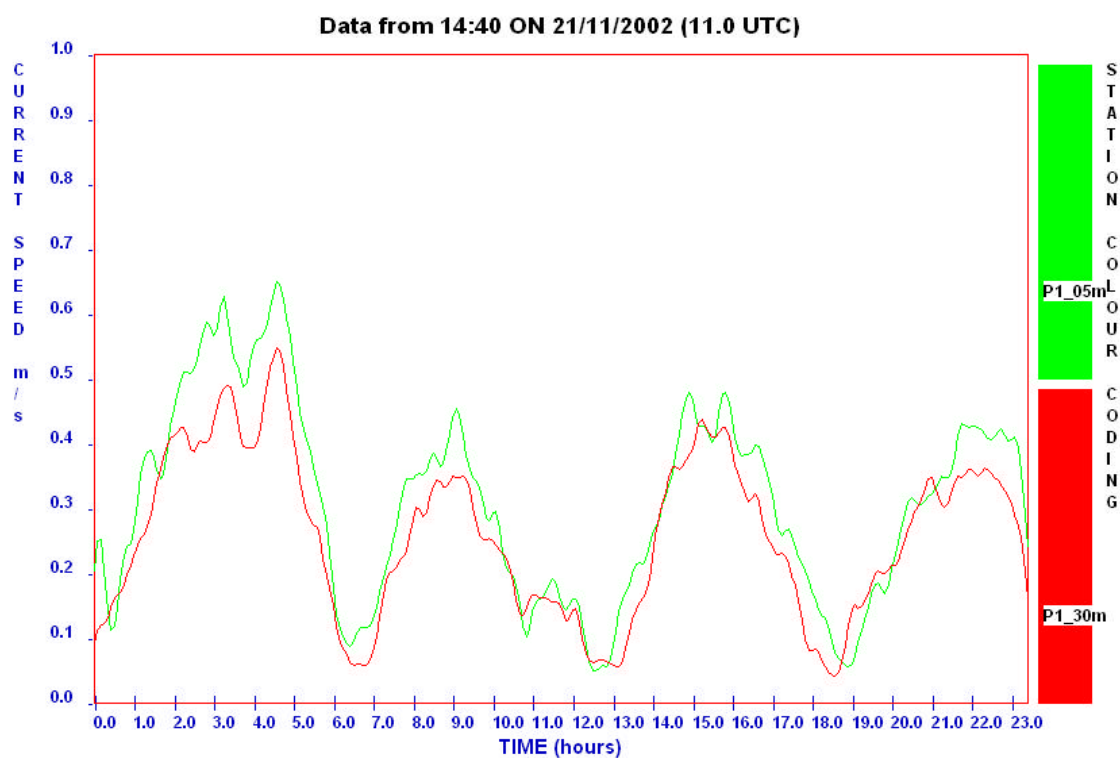


Schéma 7.2: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1

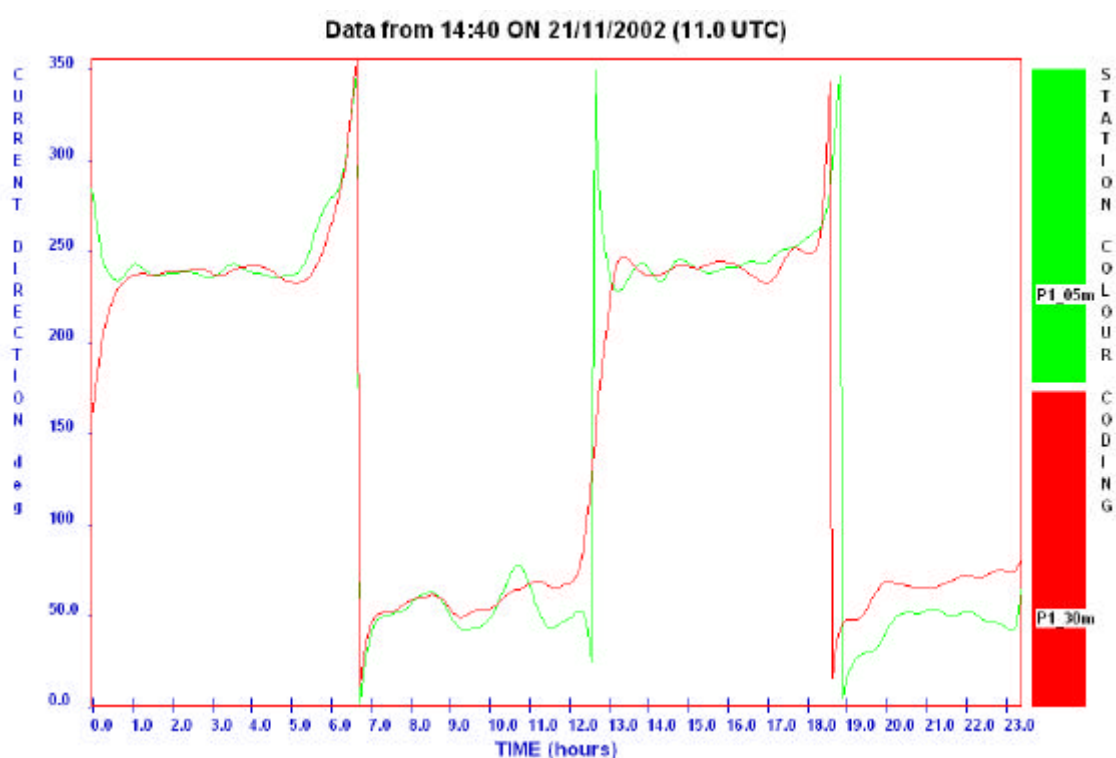


Schéma 7.3: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1

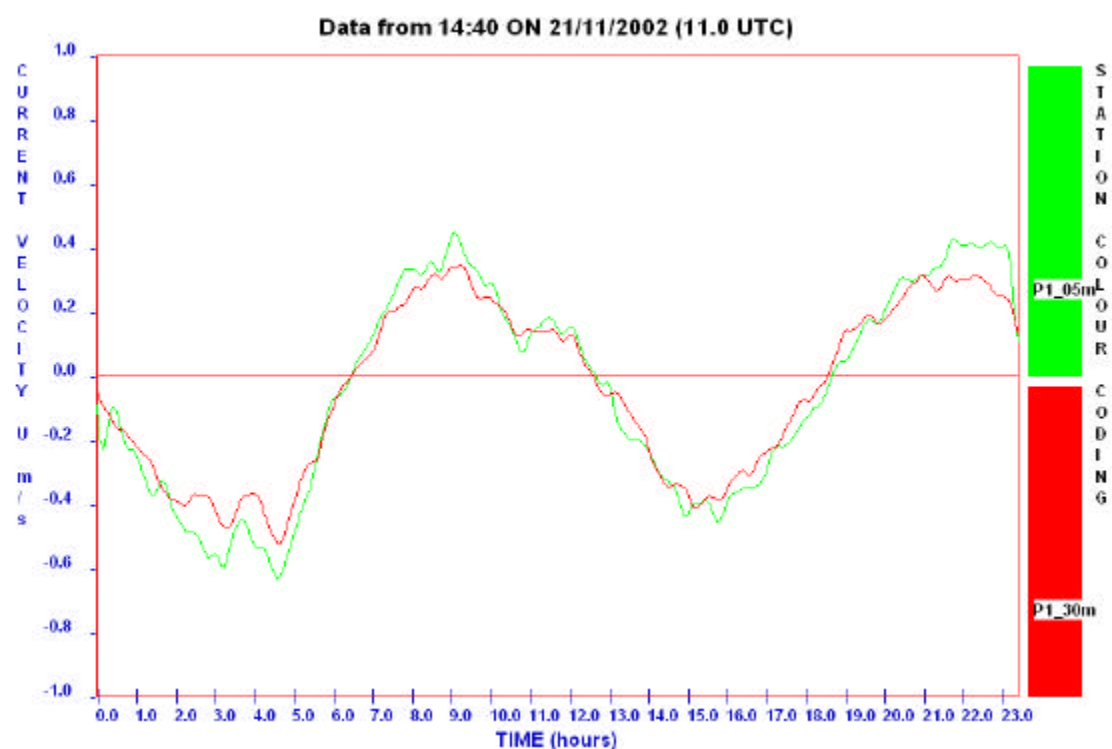


Schéma 7.4: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1

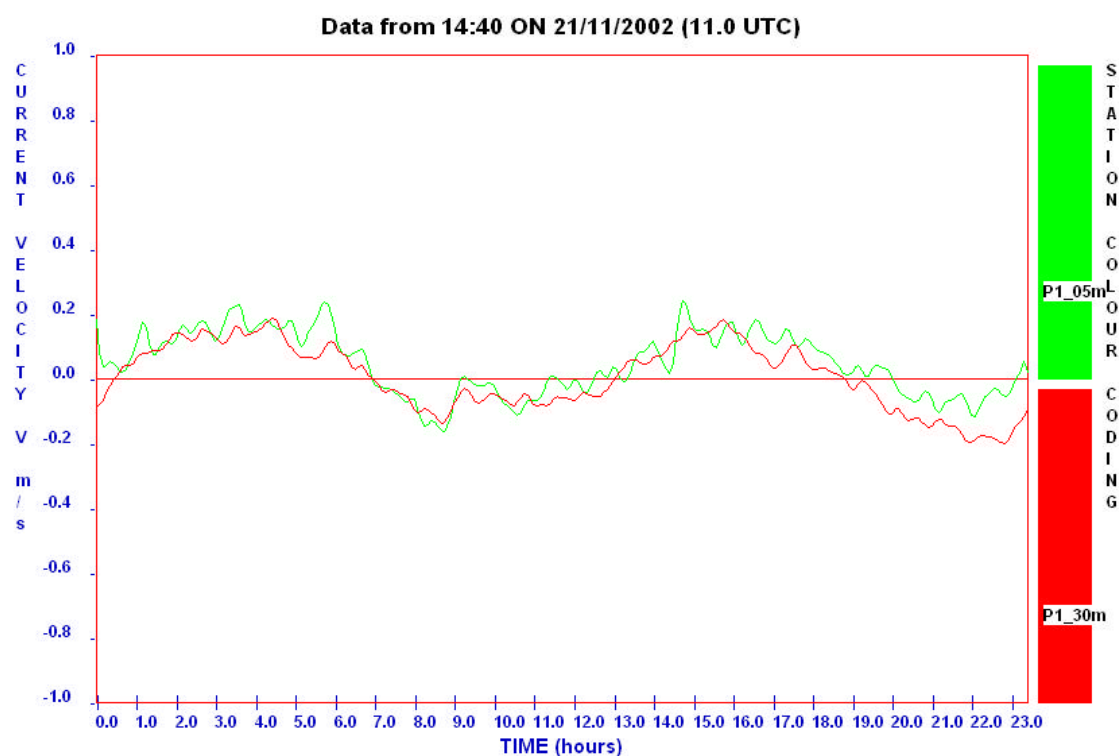


Schéma 7.5: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P1

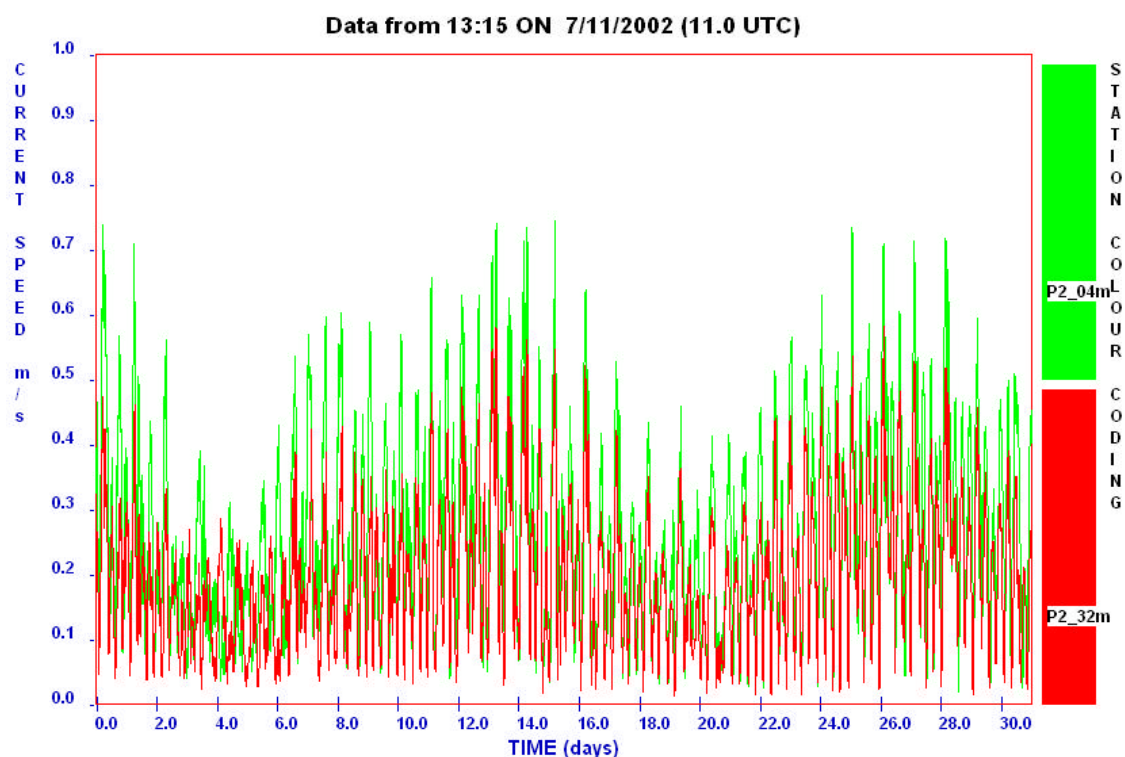


Schéma 7.6: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2

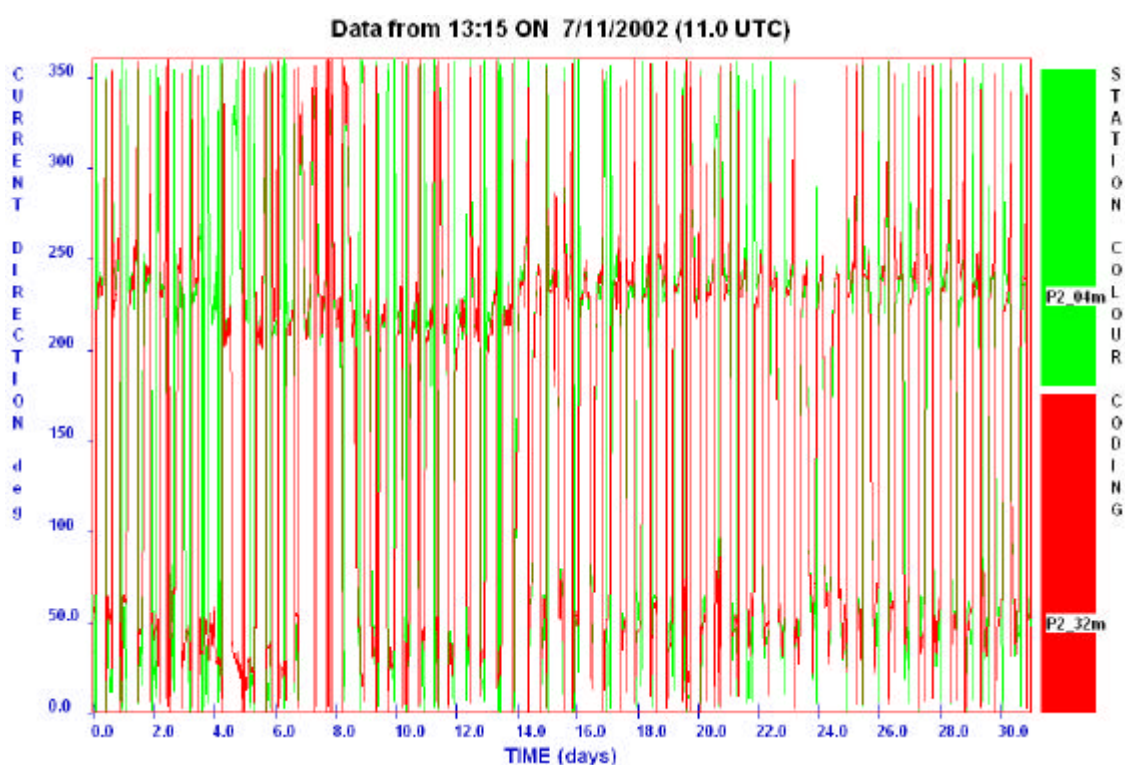


Schéma 7.7: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2

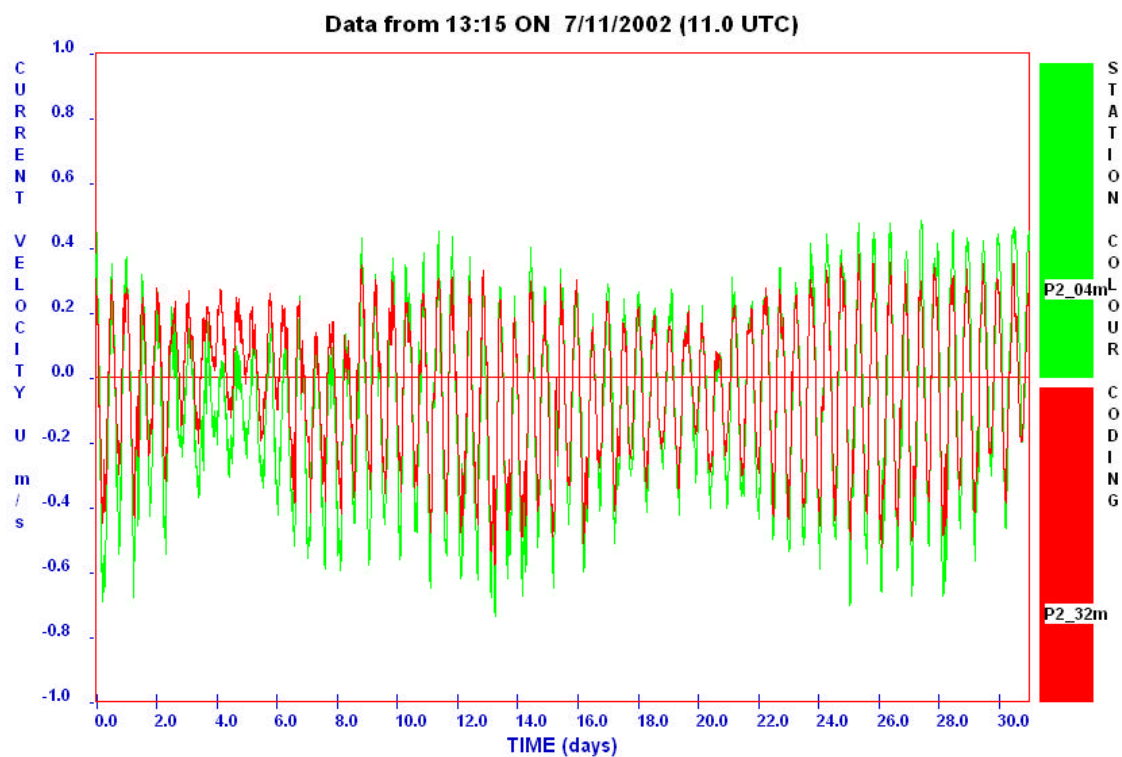


Schéma 7.8: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2

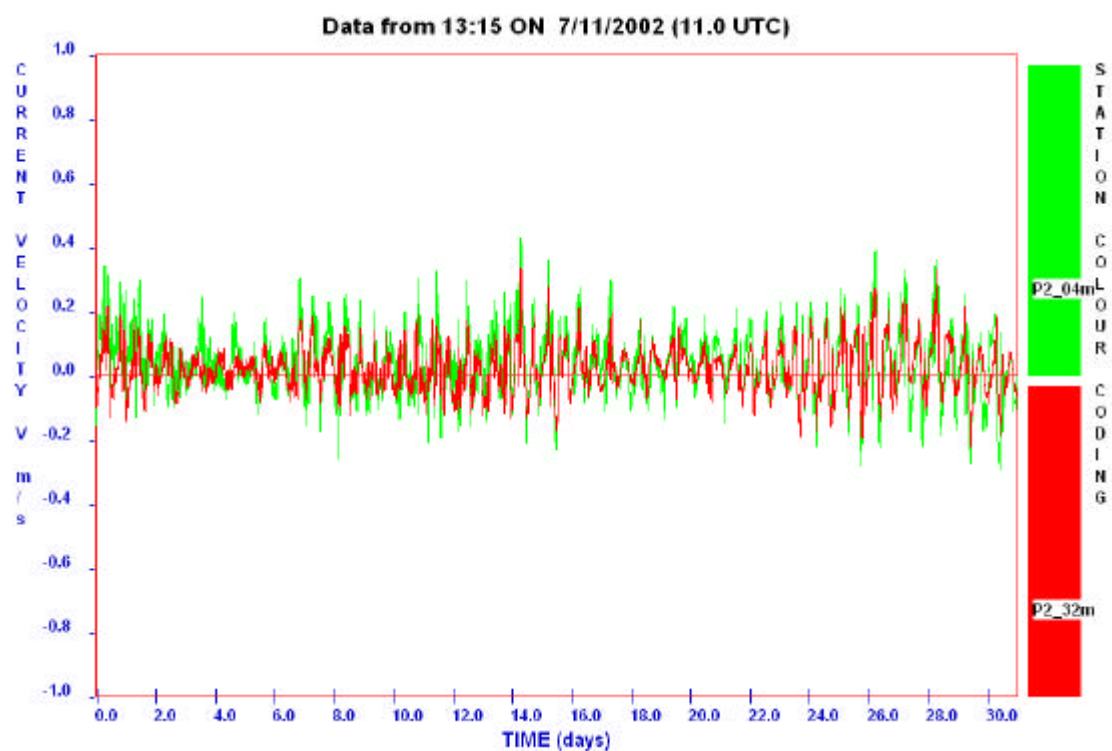


Schéma 7.9: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P2

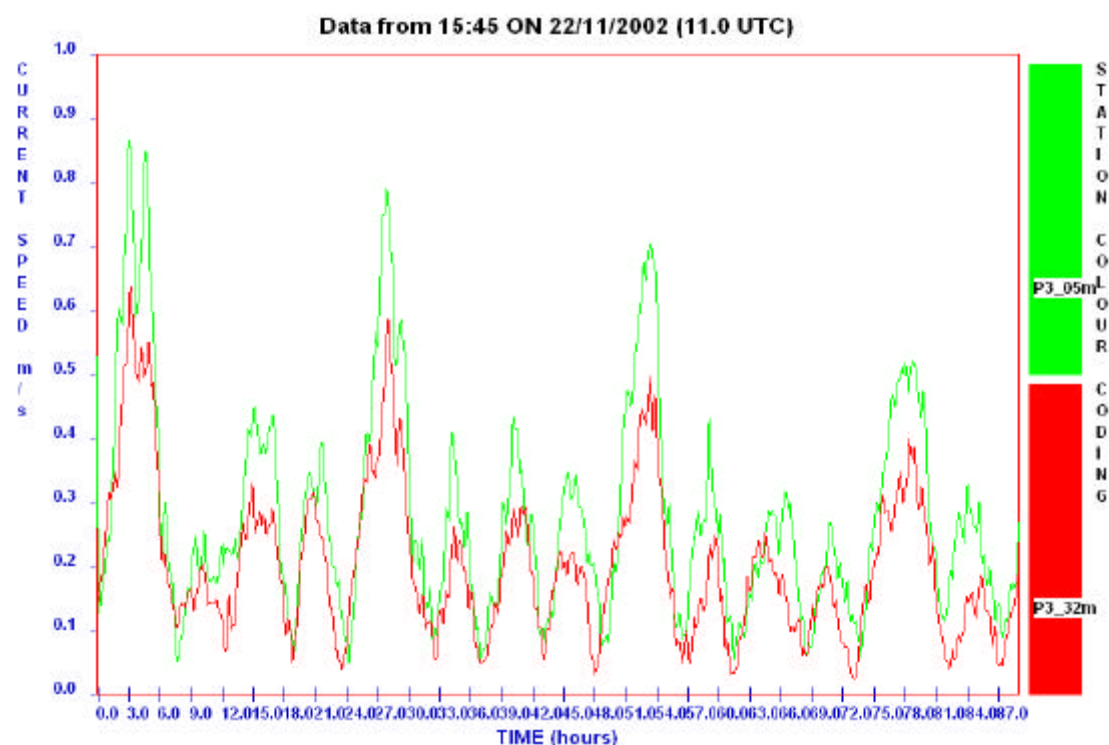


Schéma 7.10: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3

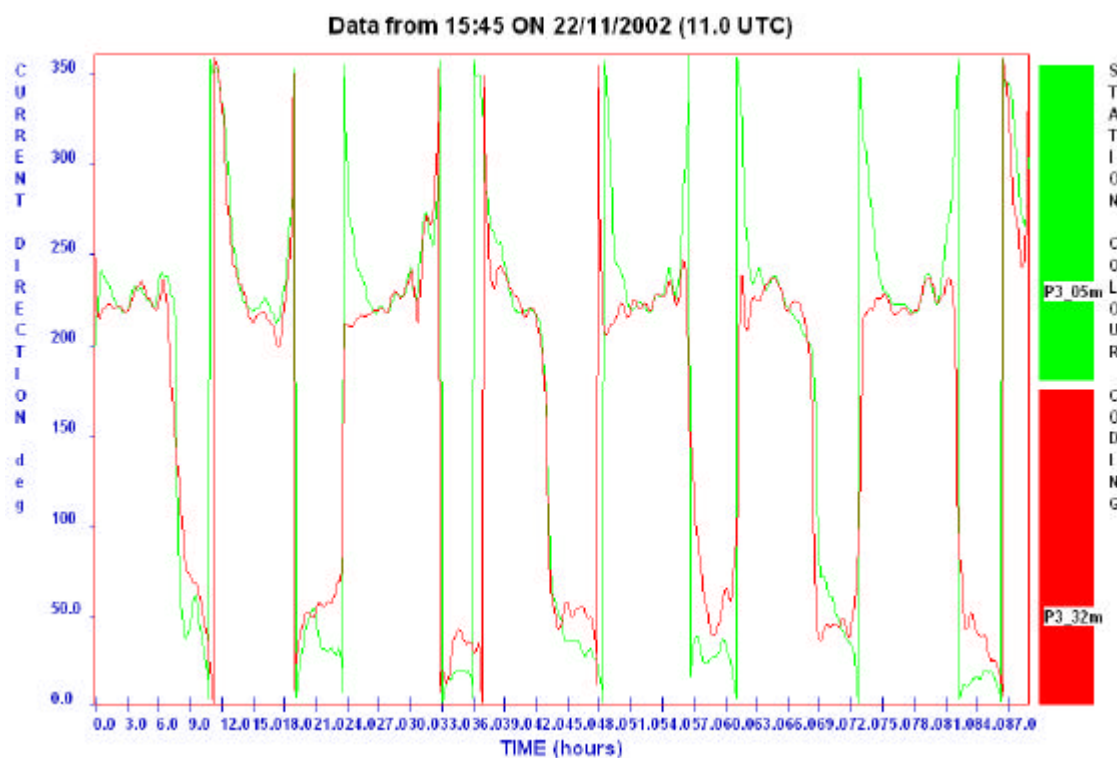


Schéma 7.11: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3

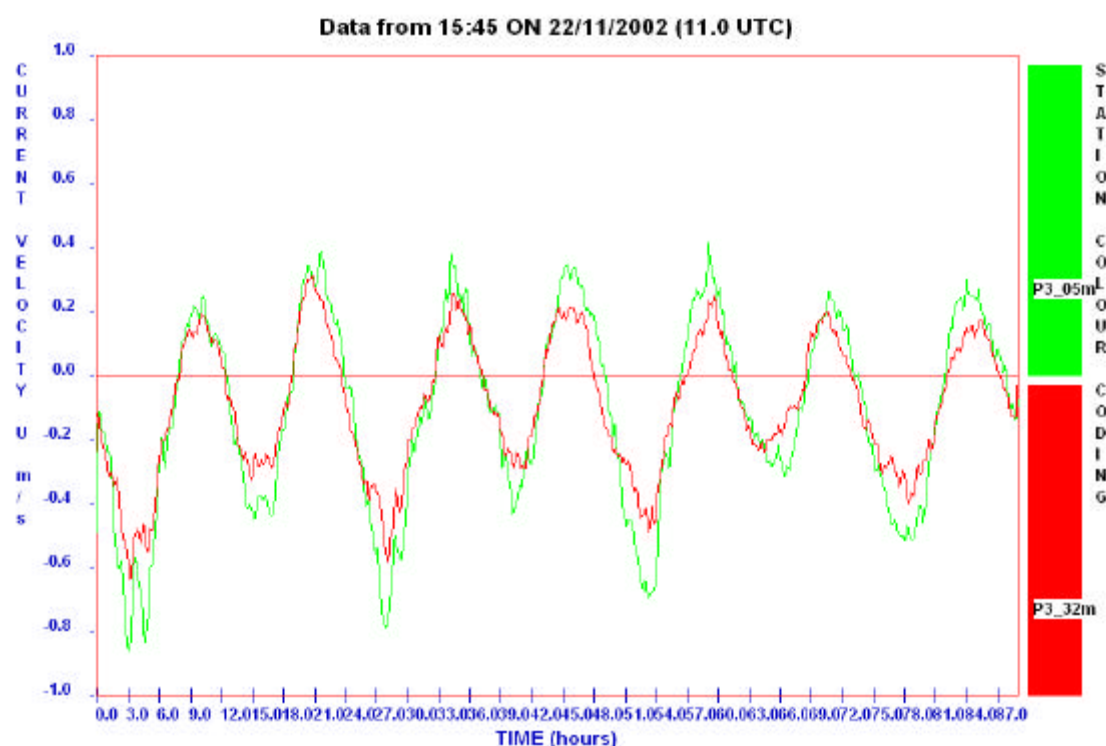


Schéma 7.12: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3

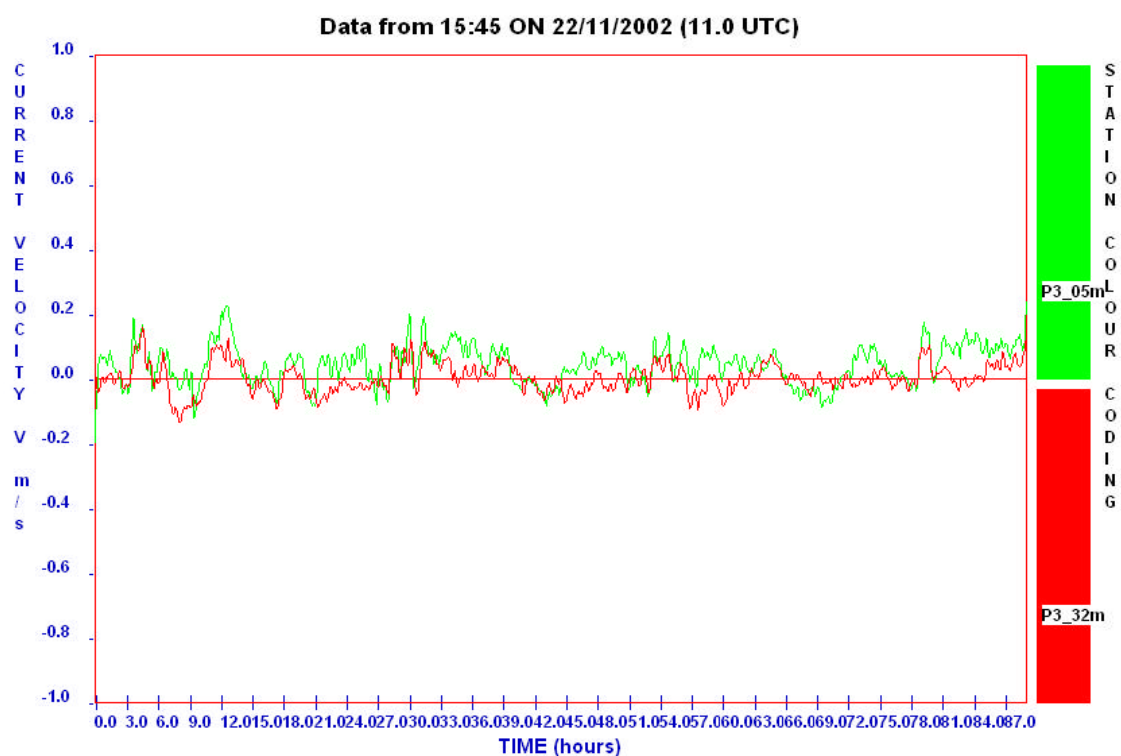


Schéma 7.13: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P3

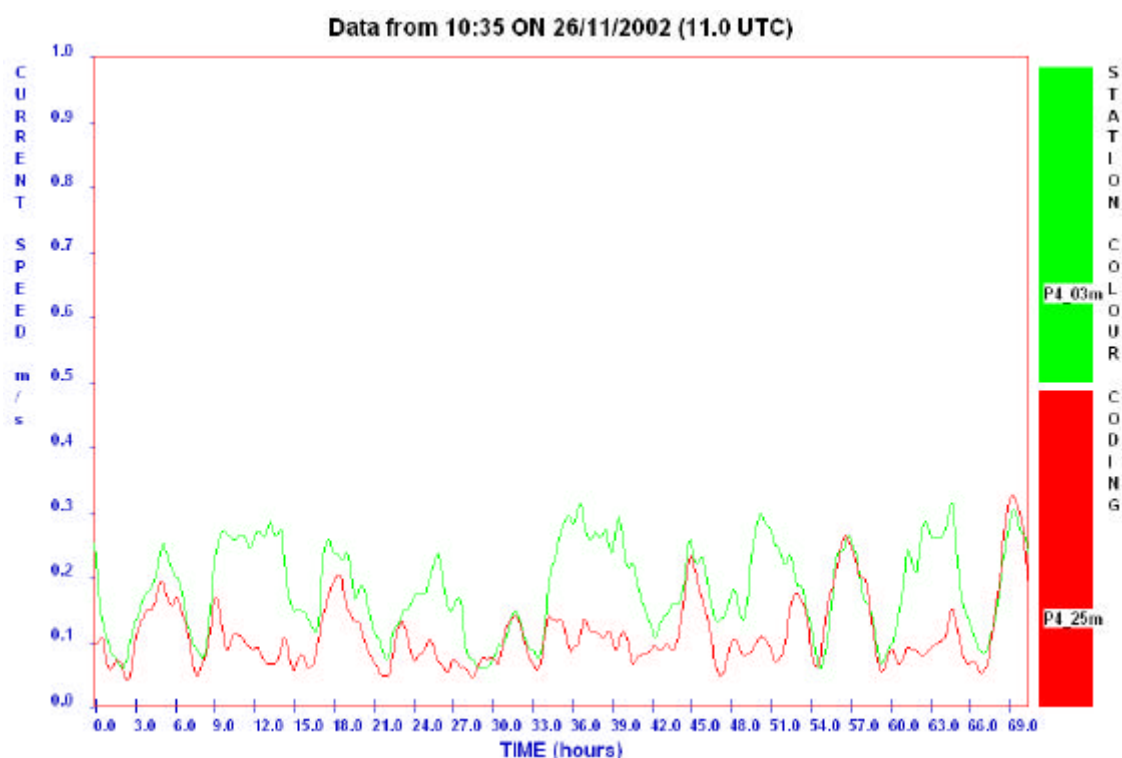


Schéma 7.14: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4

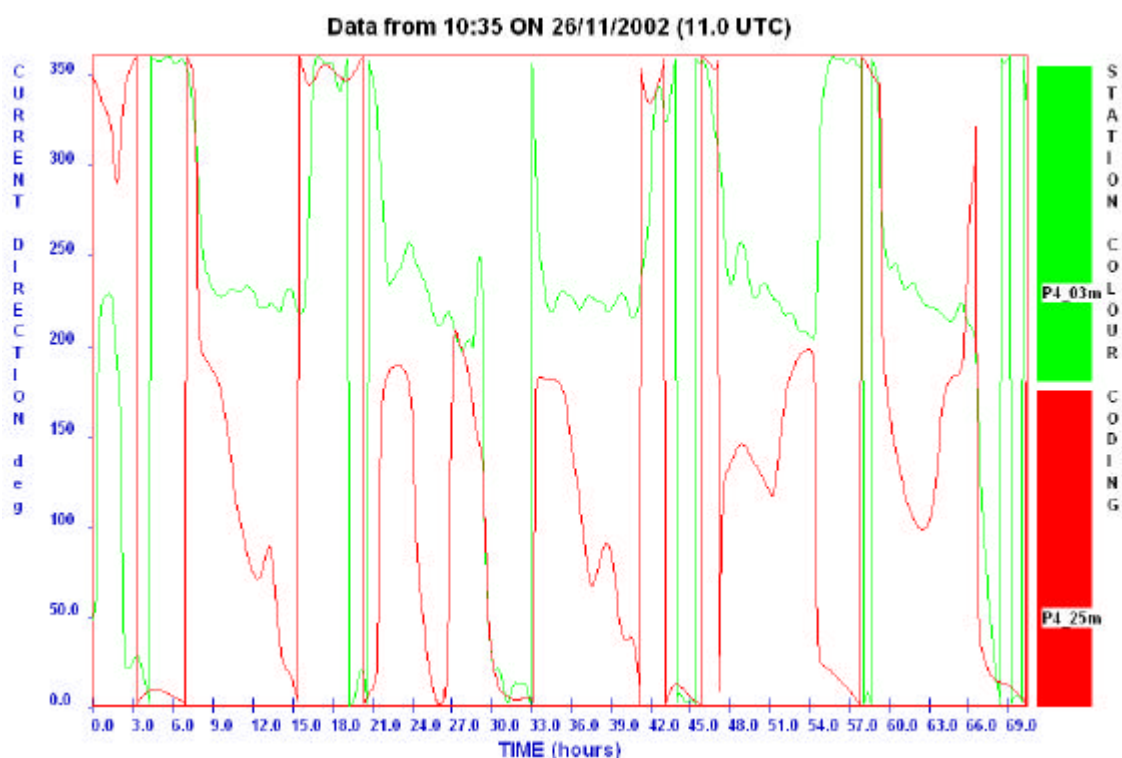


Schéma 7.15: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4

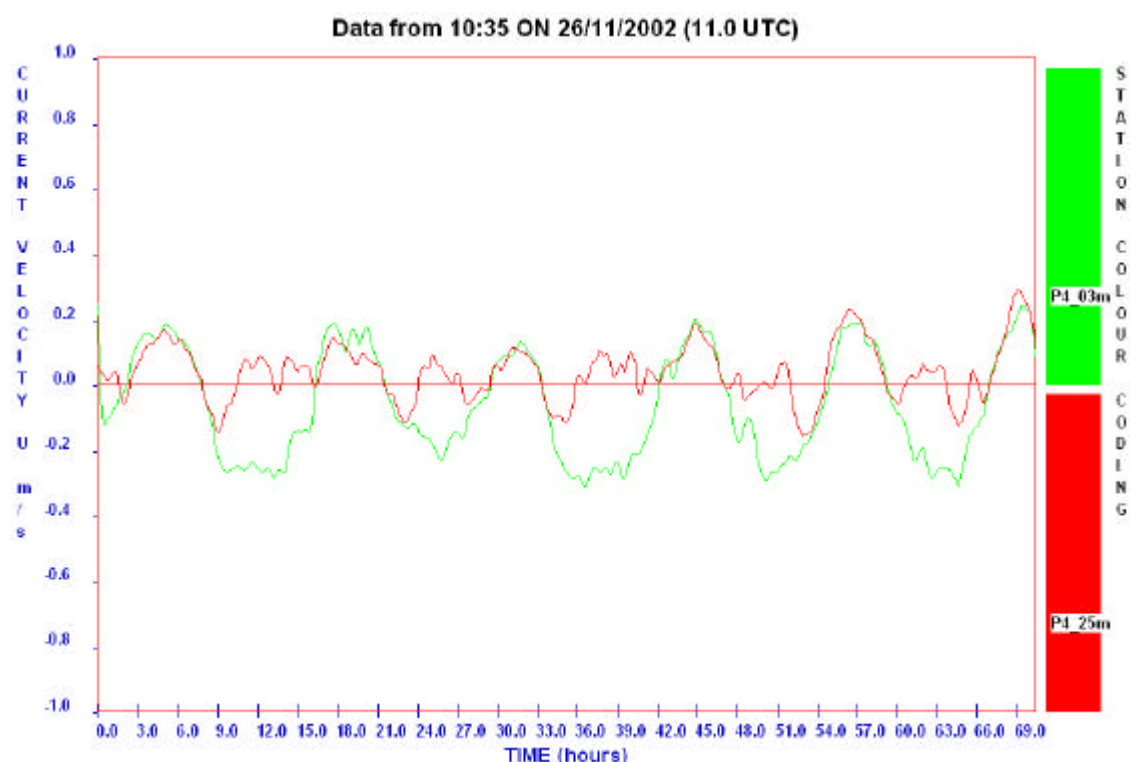


Schéma 7.16: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4

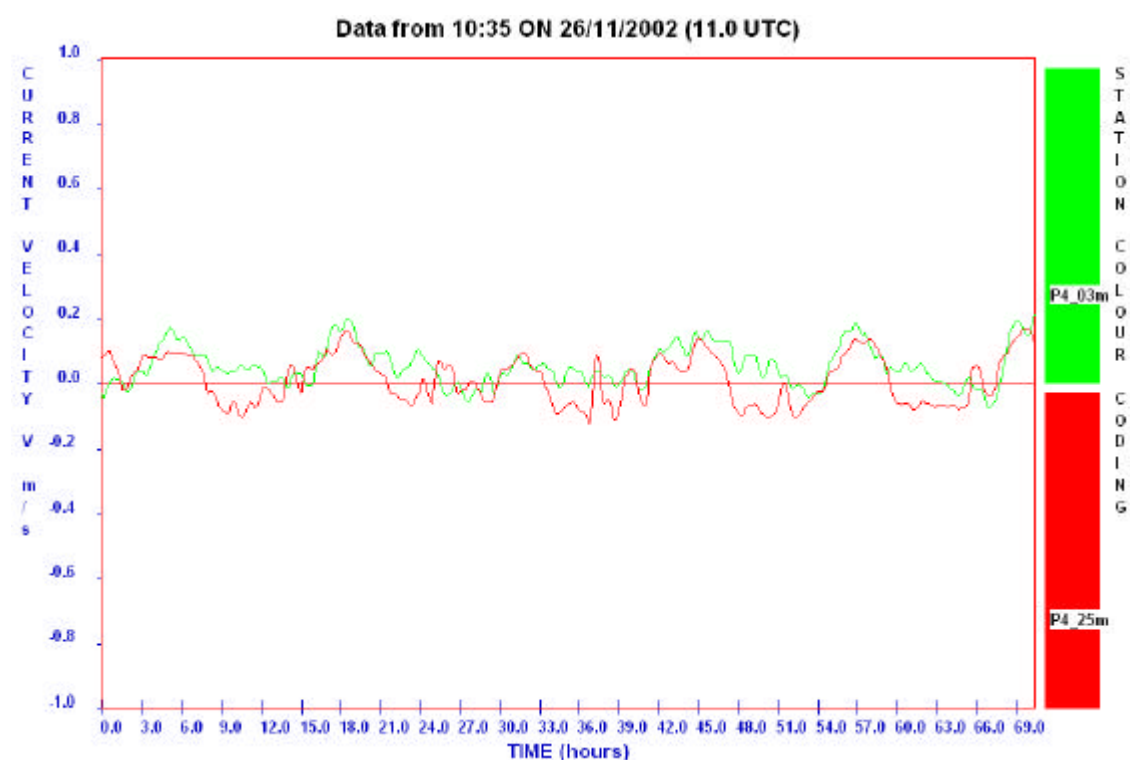


Schéma 7.17: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à P4

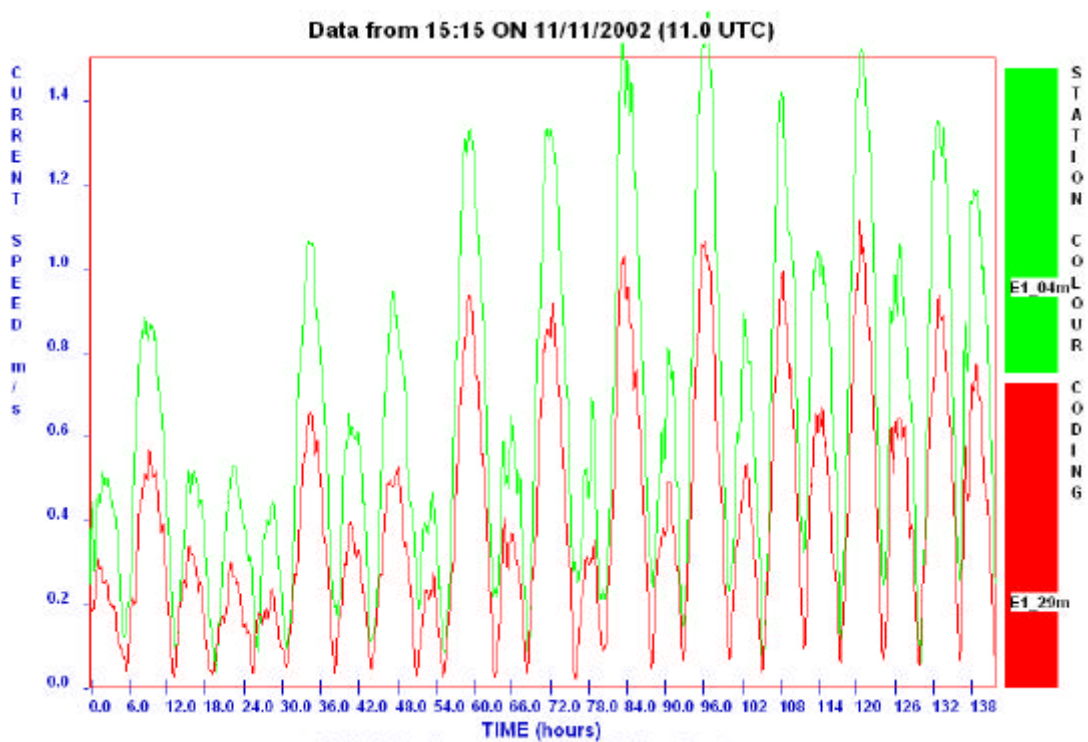


Schéma 7.18: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1

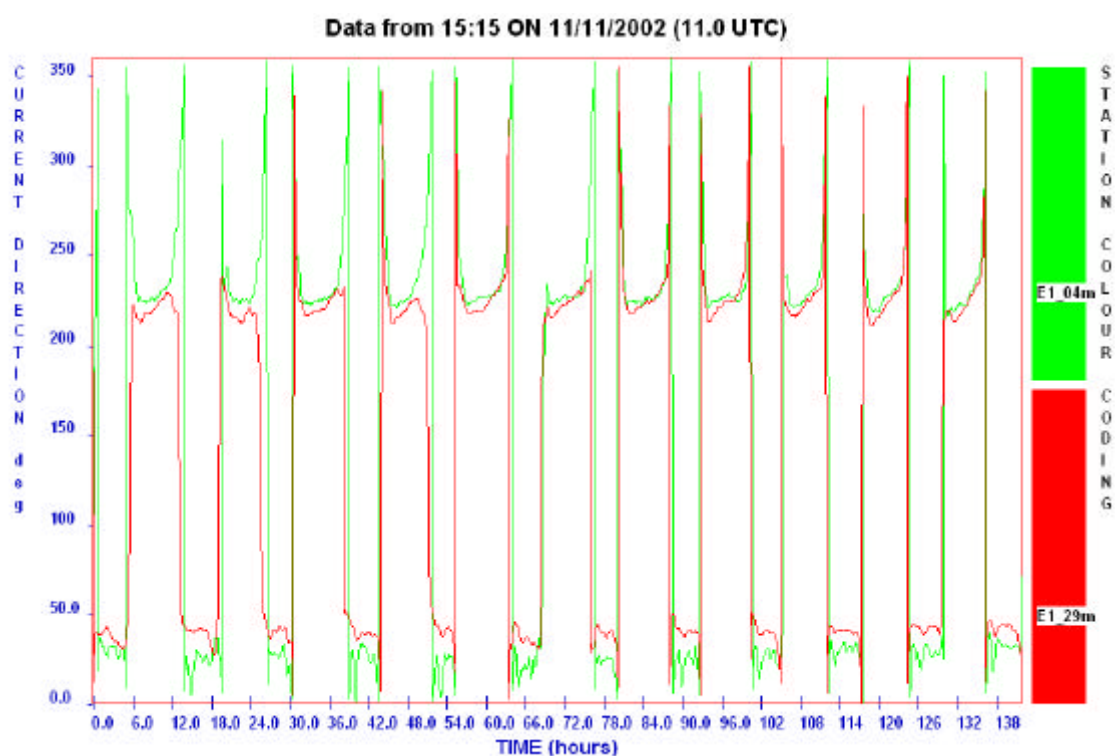


Schéma 7.19: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1

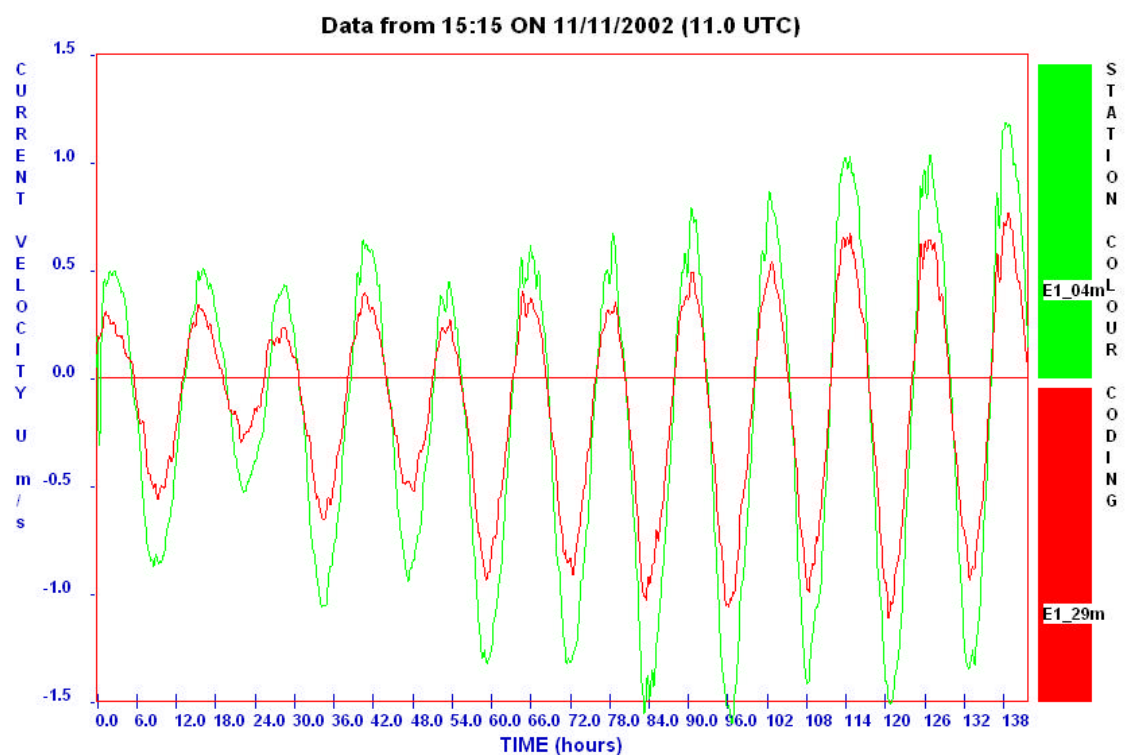


Schéma 7.20: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1

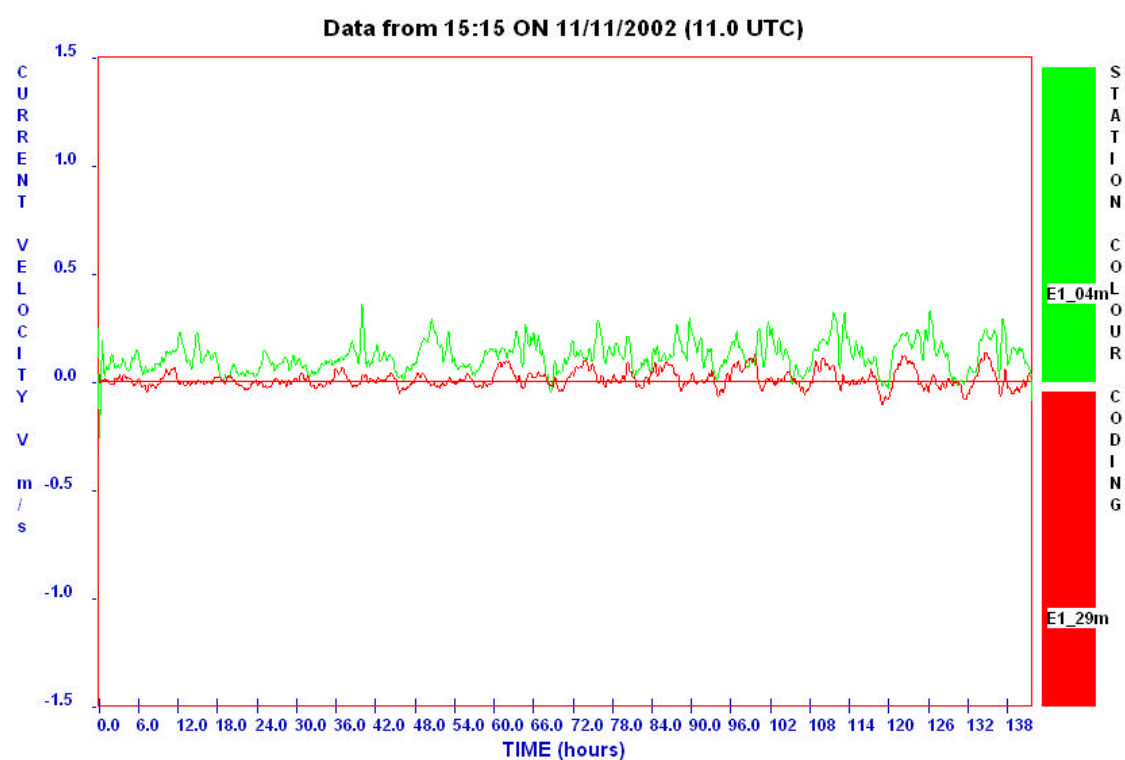


Schéma 7.21: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E1

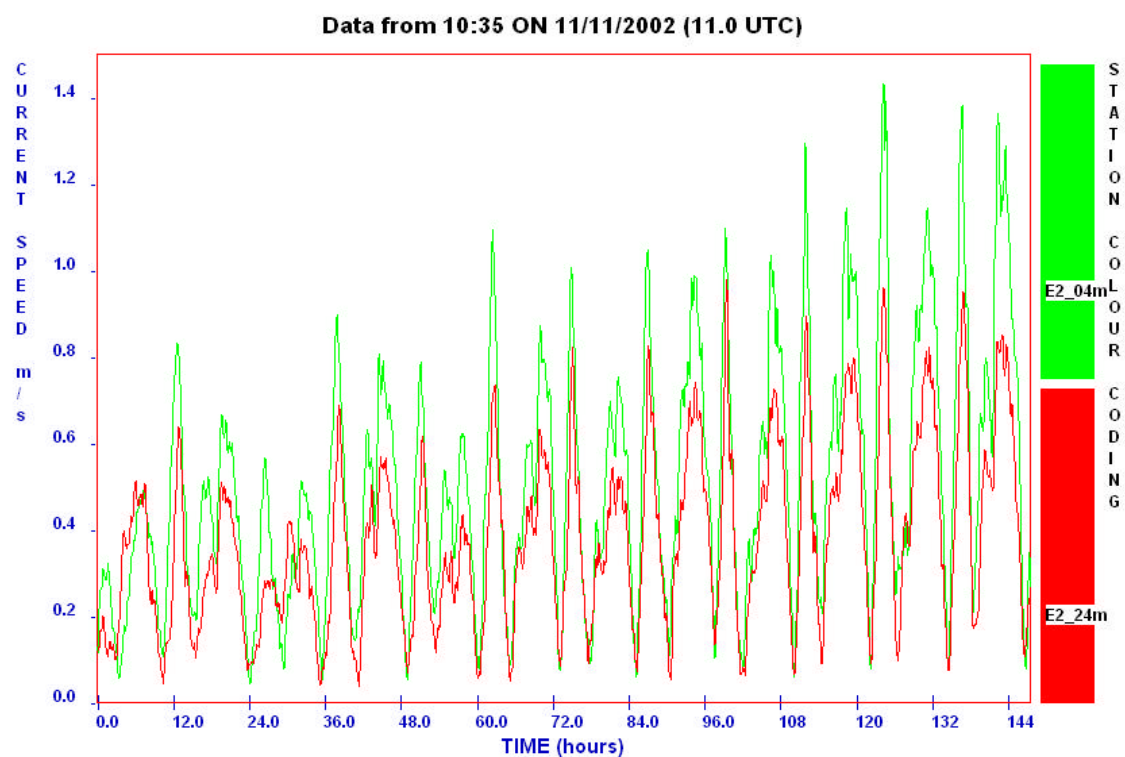


Schéma 7.22: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2

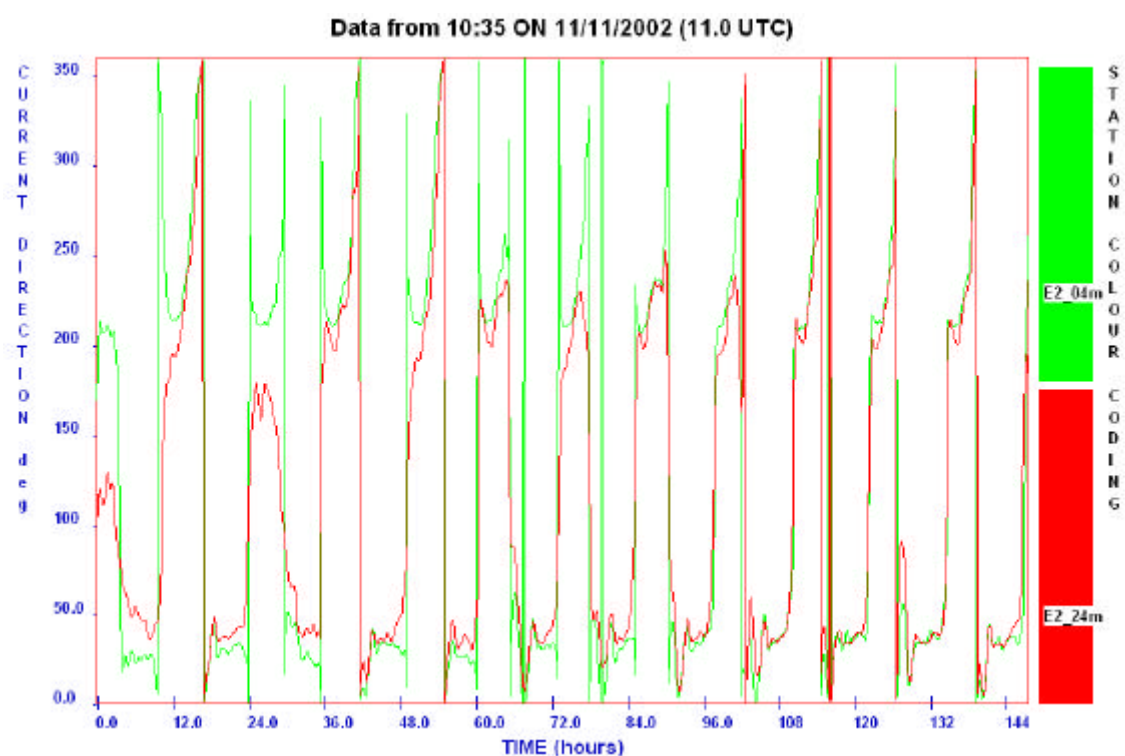


Schéma 7.23: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2

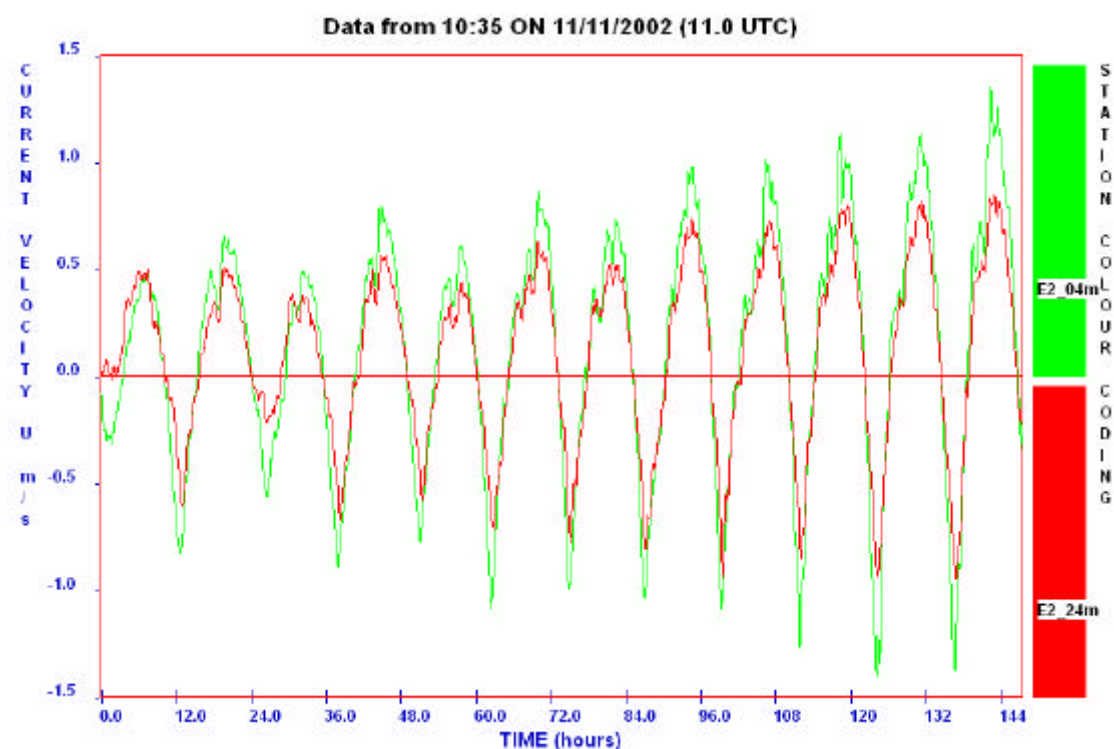


Schéma 7.24: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2

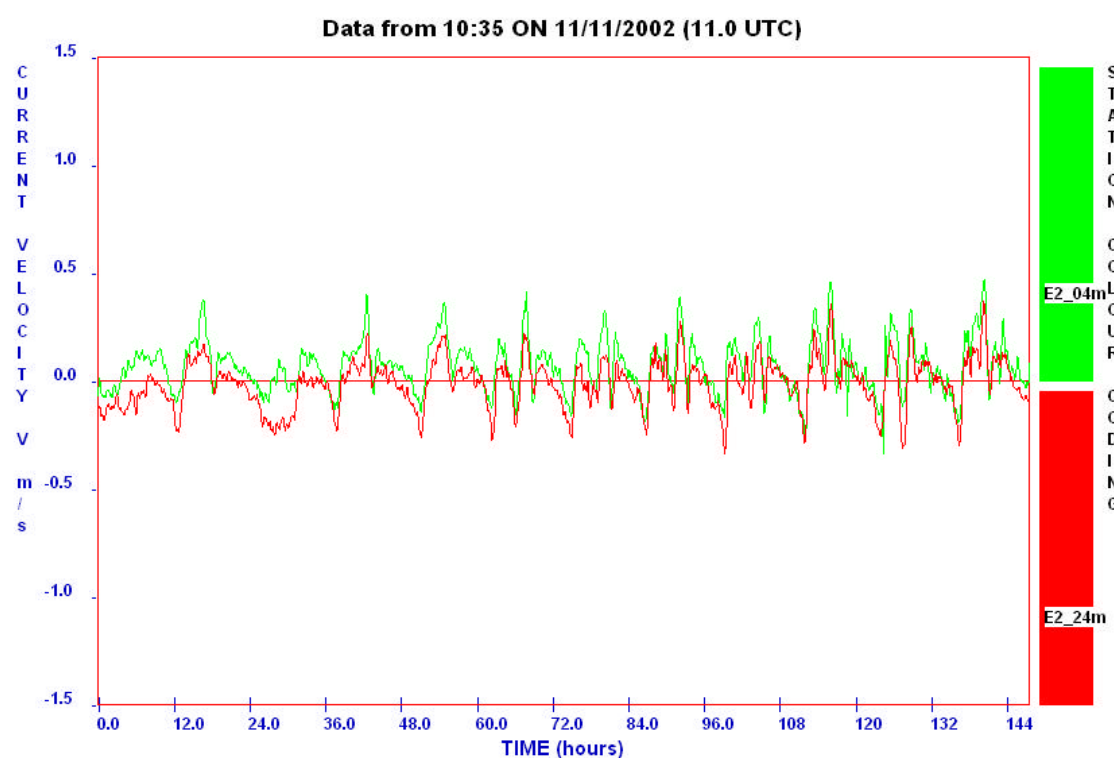


Schéma 7.25: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E2

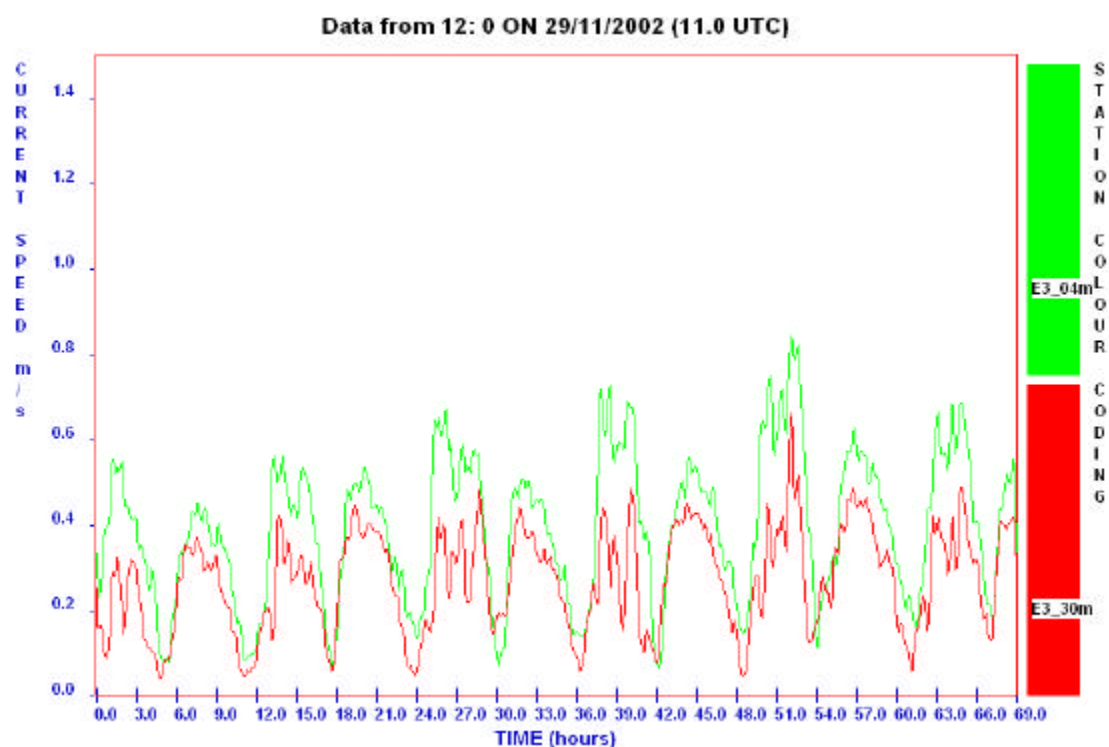


Schéma 7.26: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3

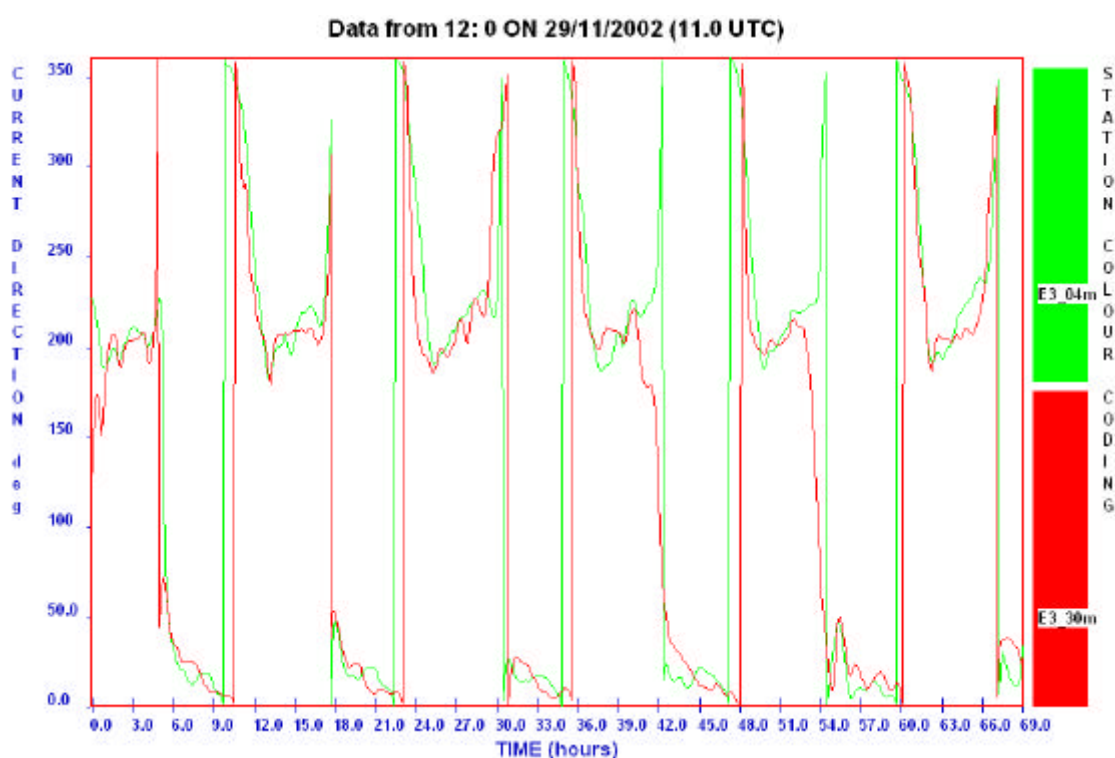


Schéma 7.27: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3

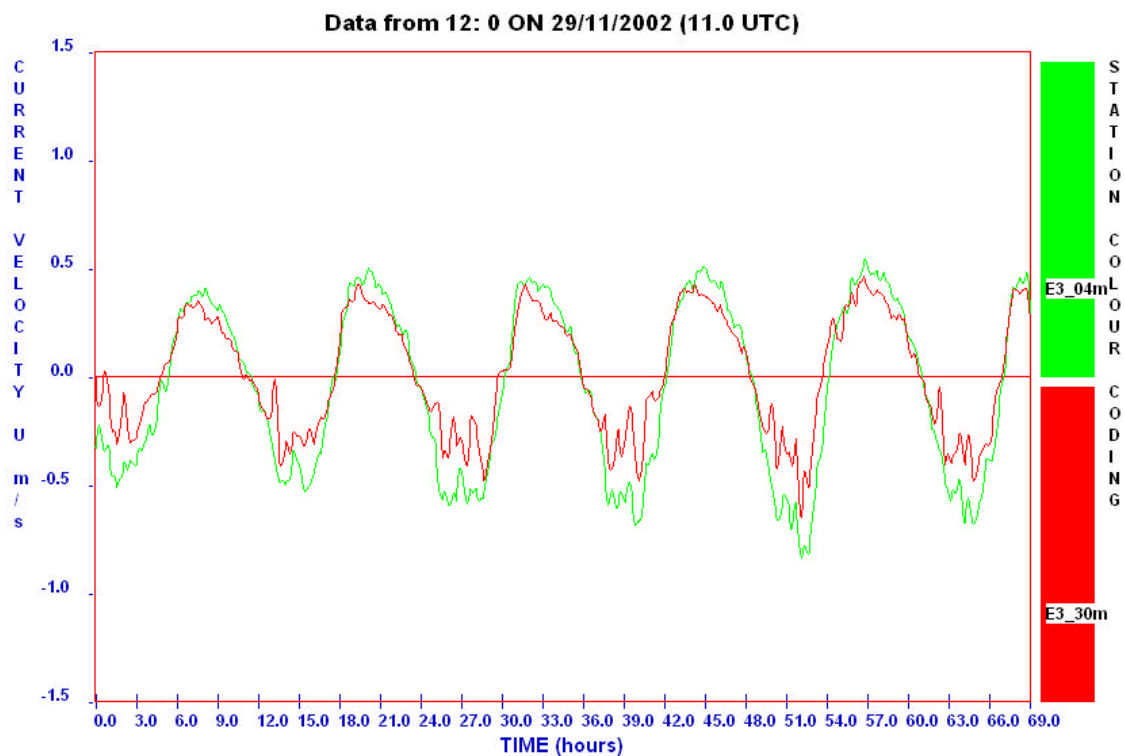


Schéma 7.28: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3

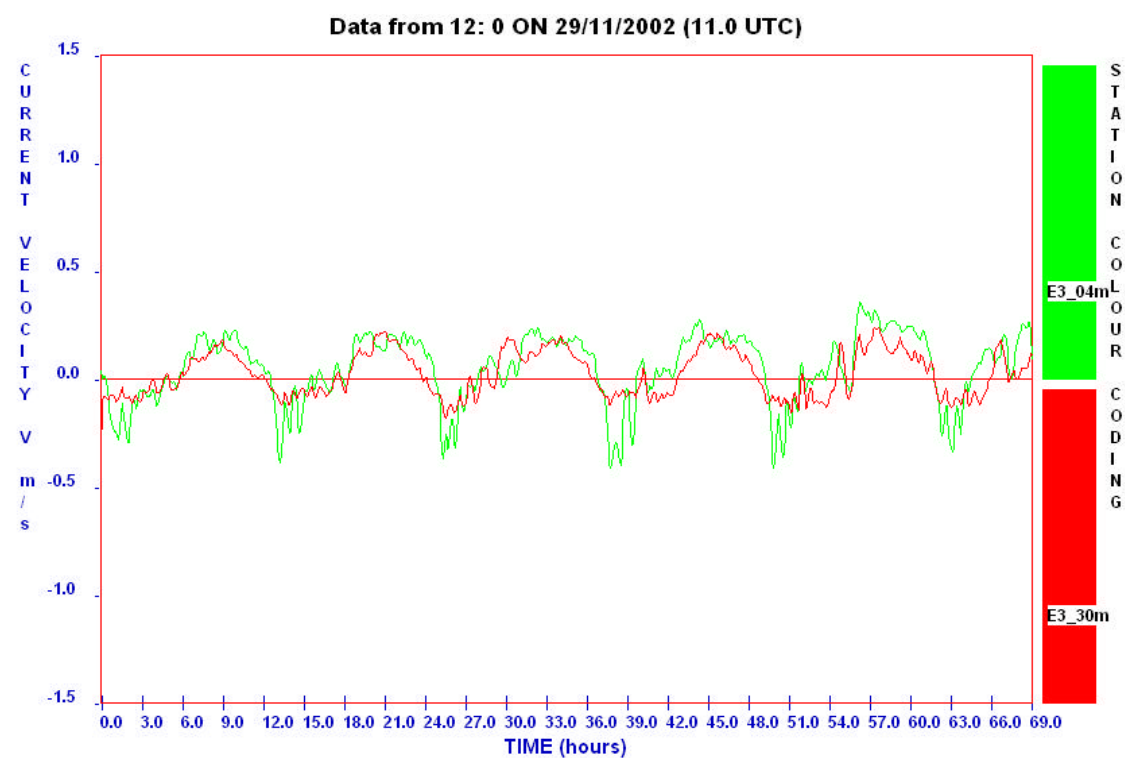


Schéma 7.29: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à E3

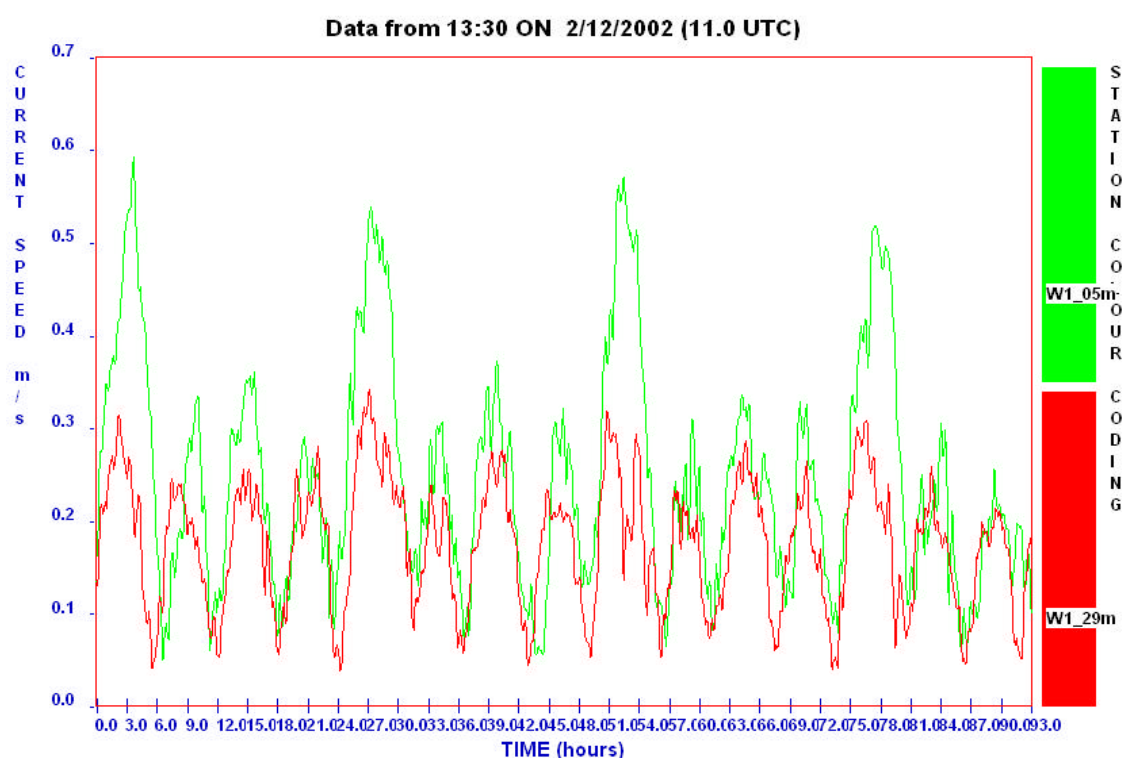


Schéma 7.30: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1

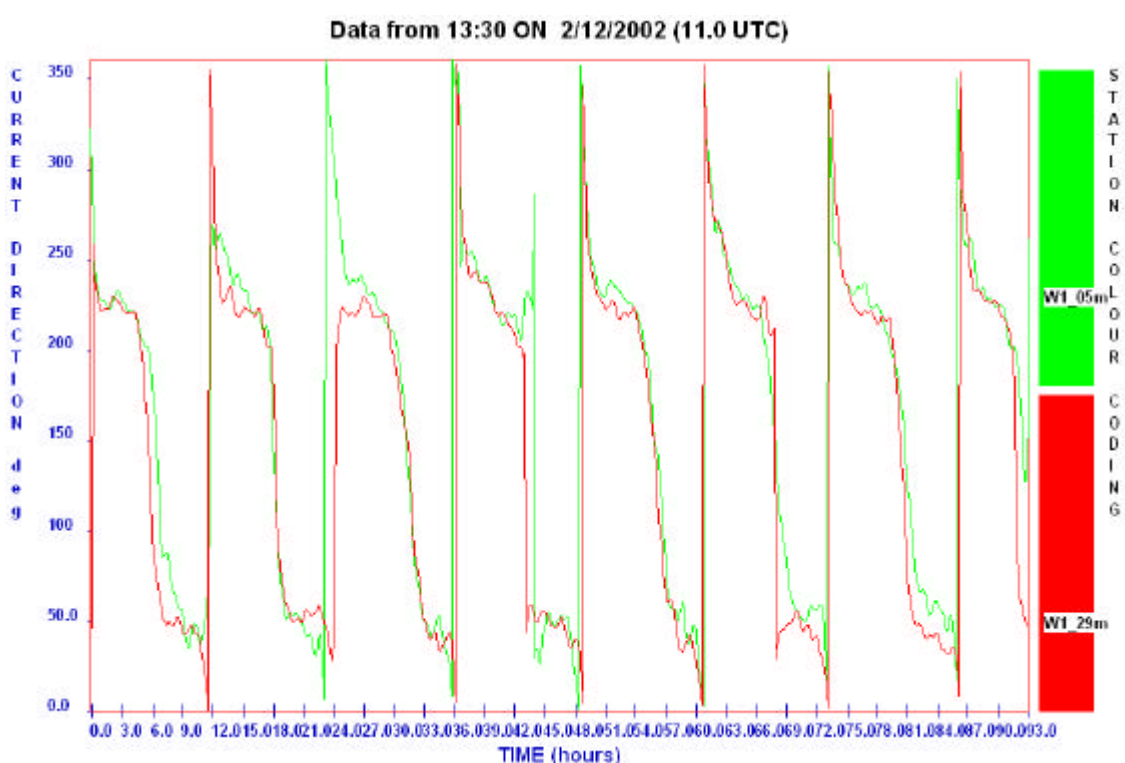


Schéma 7.31: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1

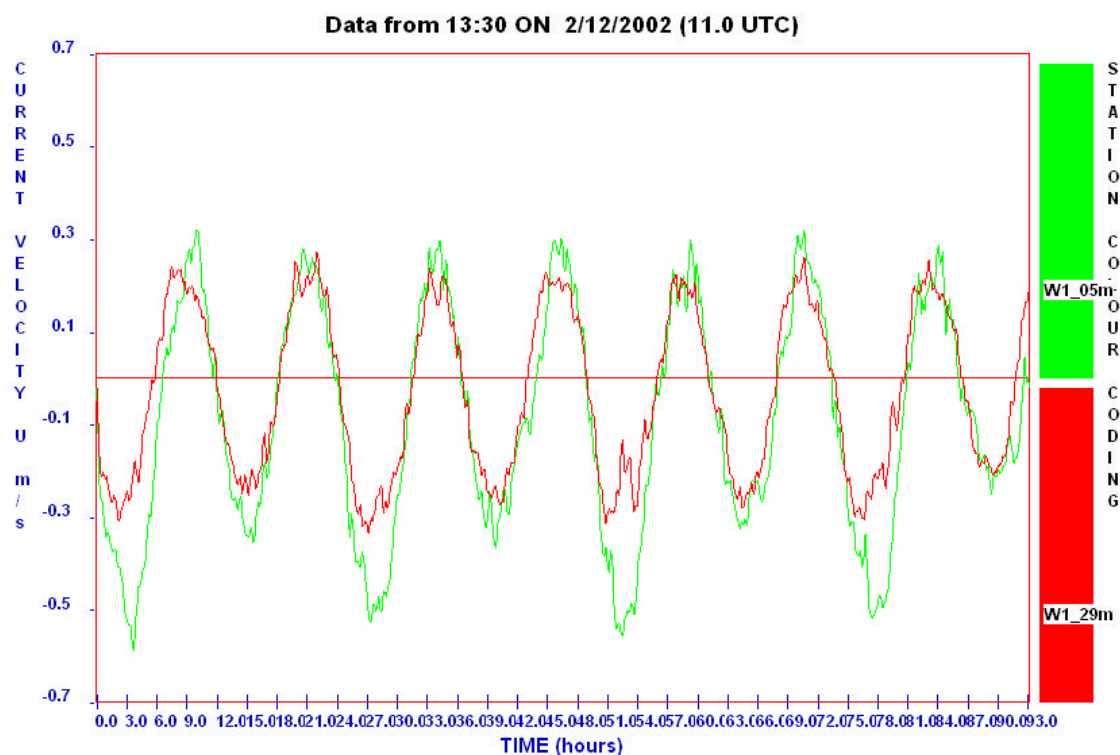


Schéma 7.32: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) W1

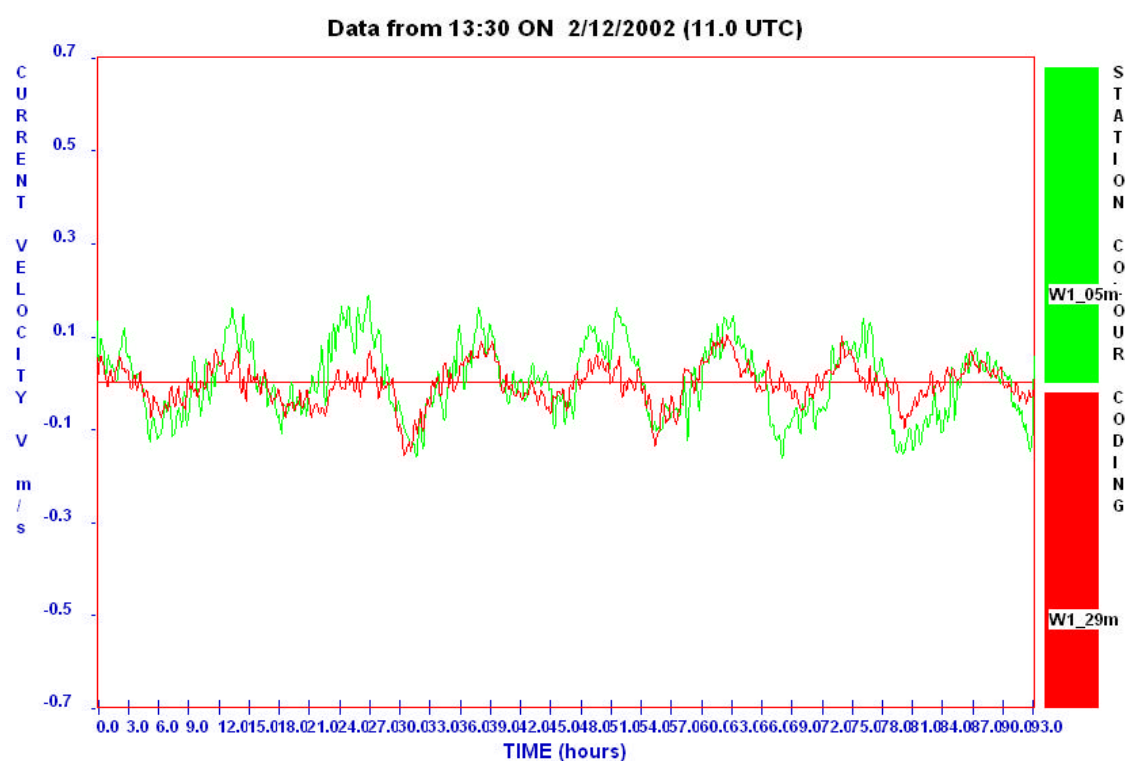


Schéma 7.33: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à W1

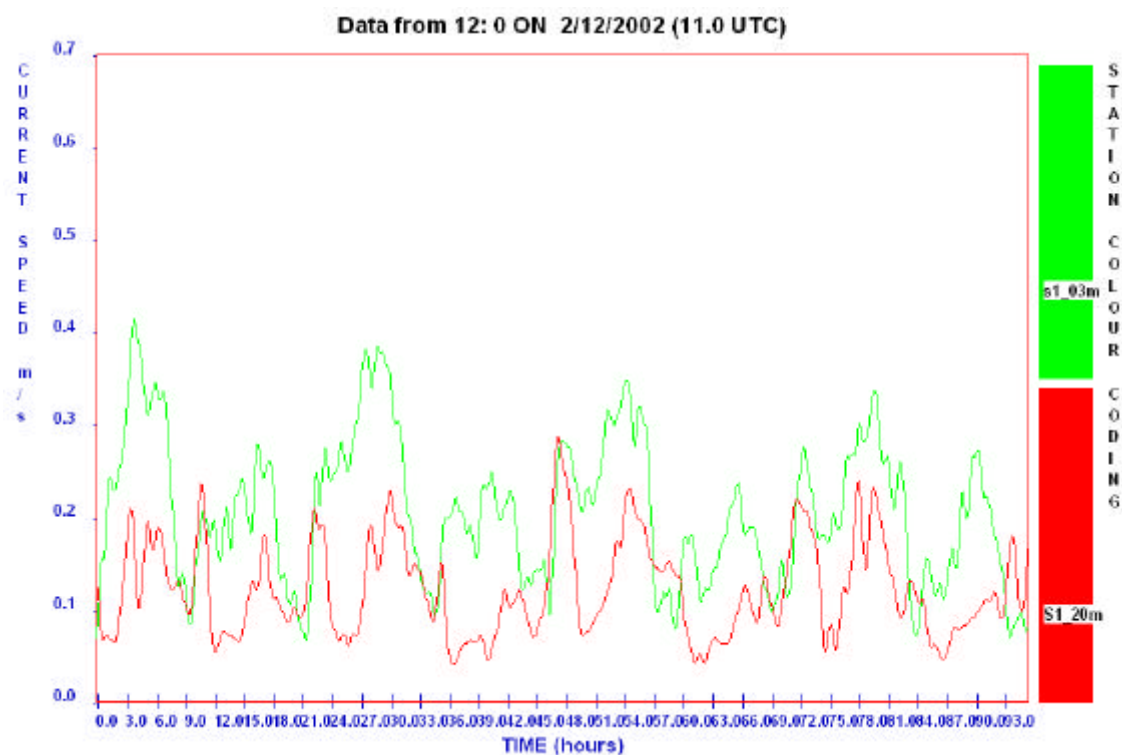


Schéma 7.34: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) S1

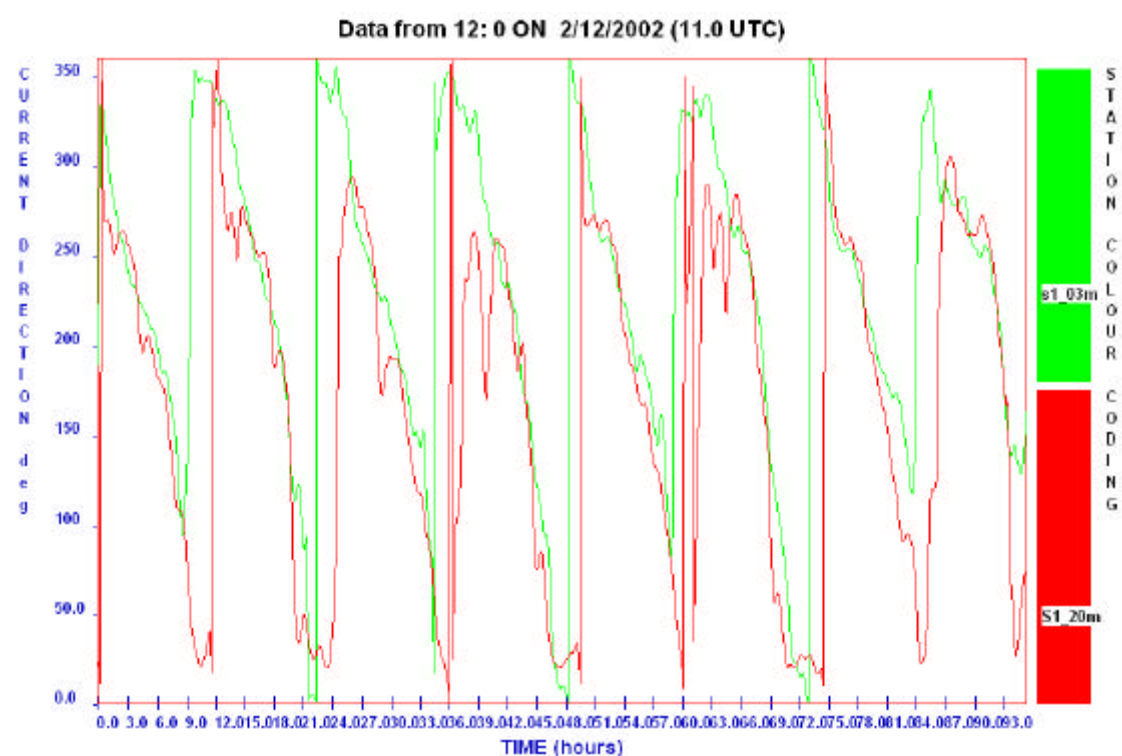


Schéma 7.35: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1

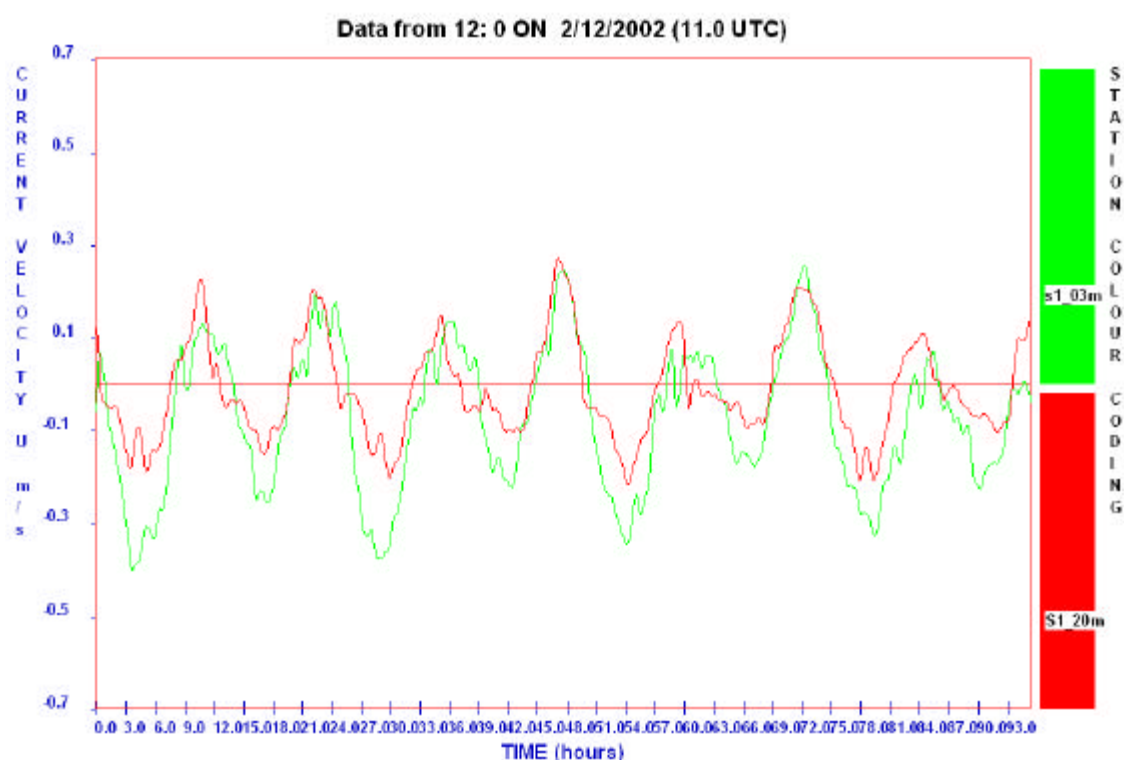


Schéma 7.36: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1

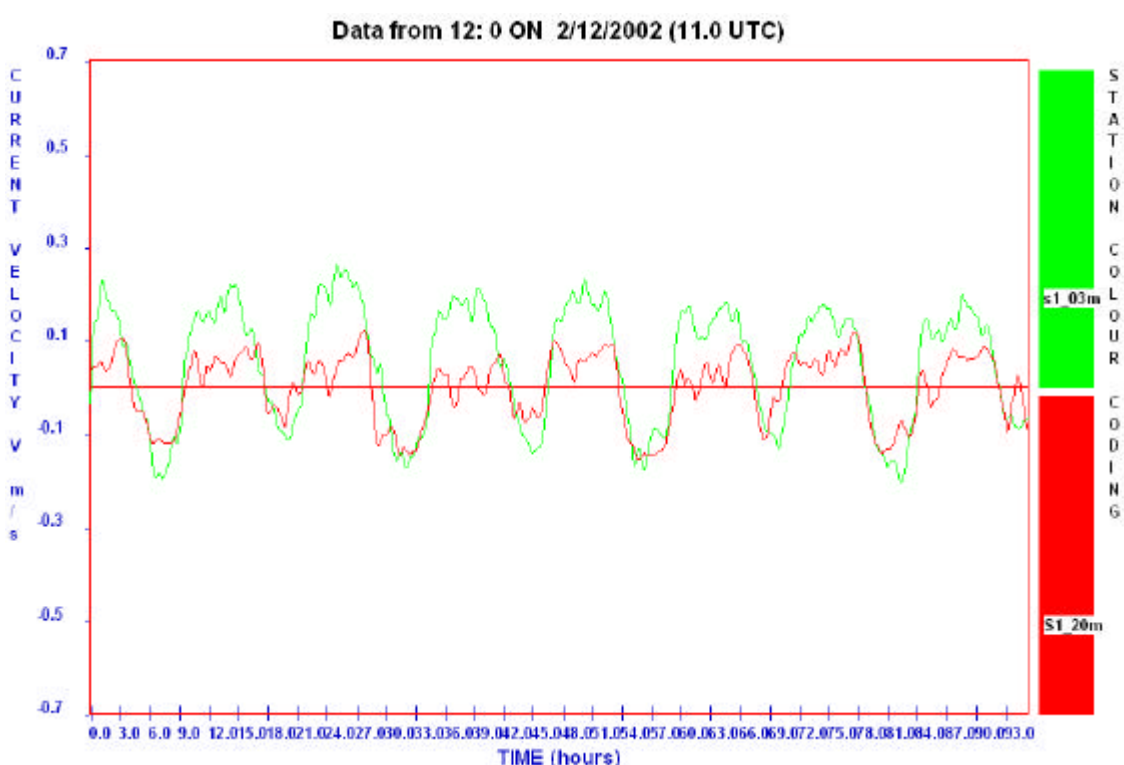


Schéma 7.37: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S1

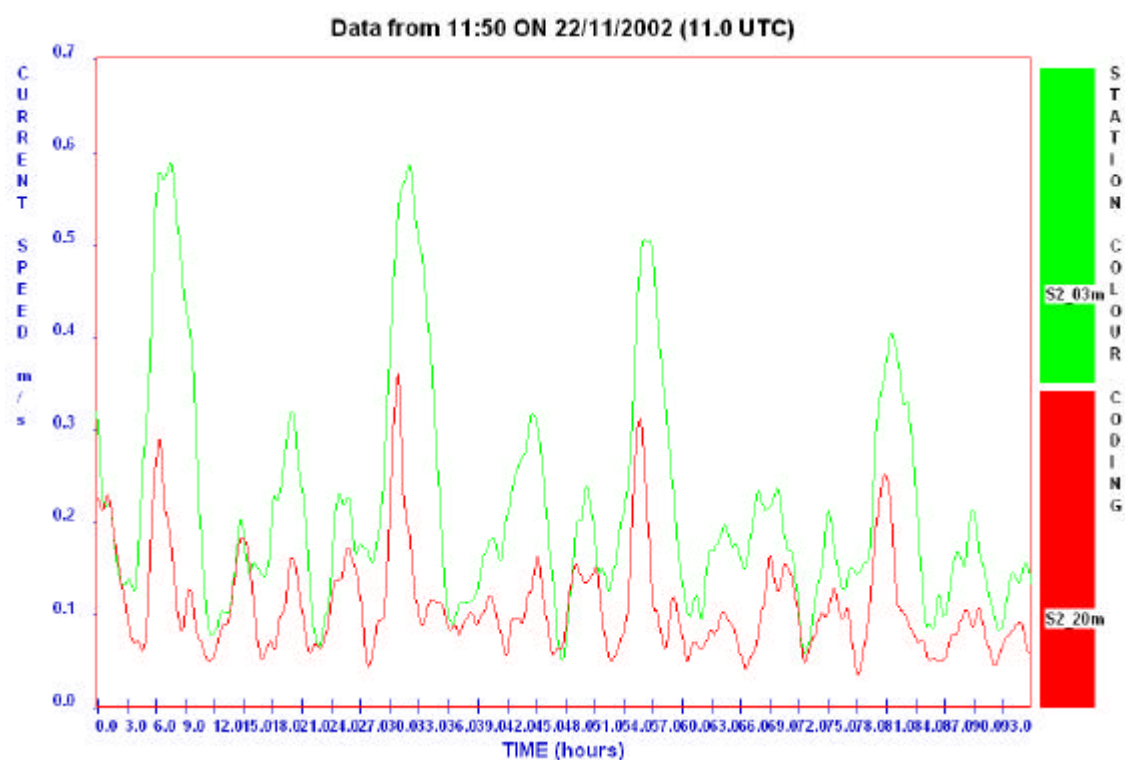


Schéma 7.38: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2

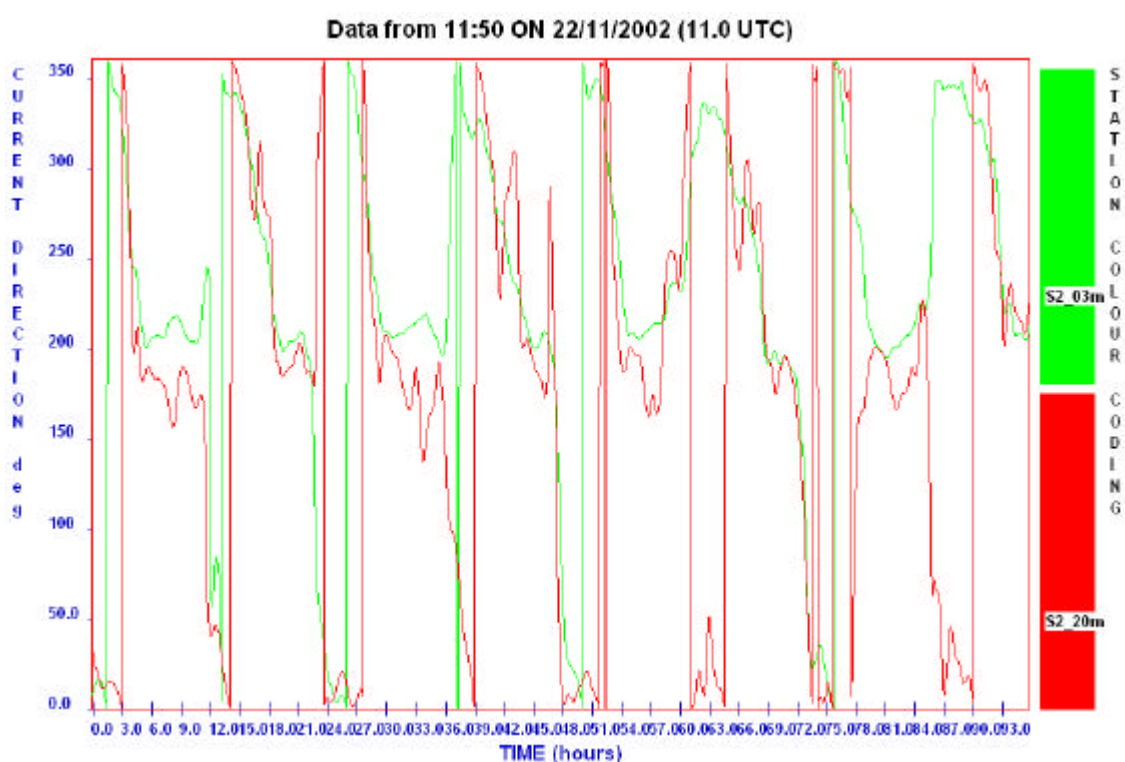


Schéma 7.39: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2

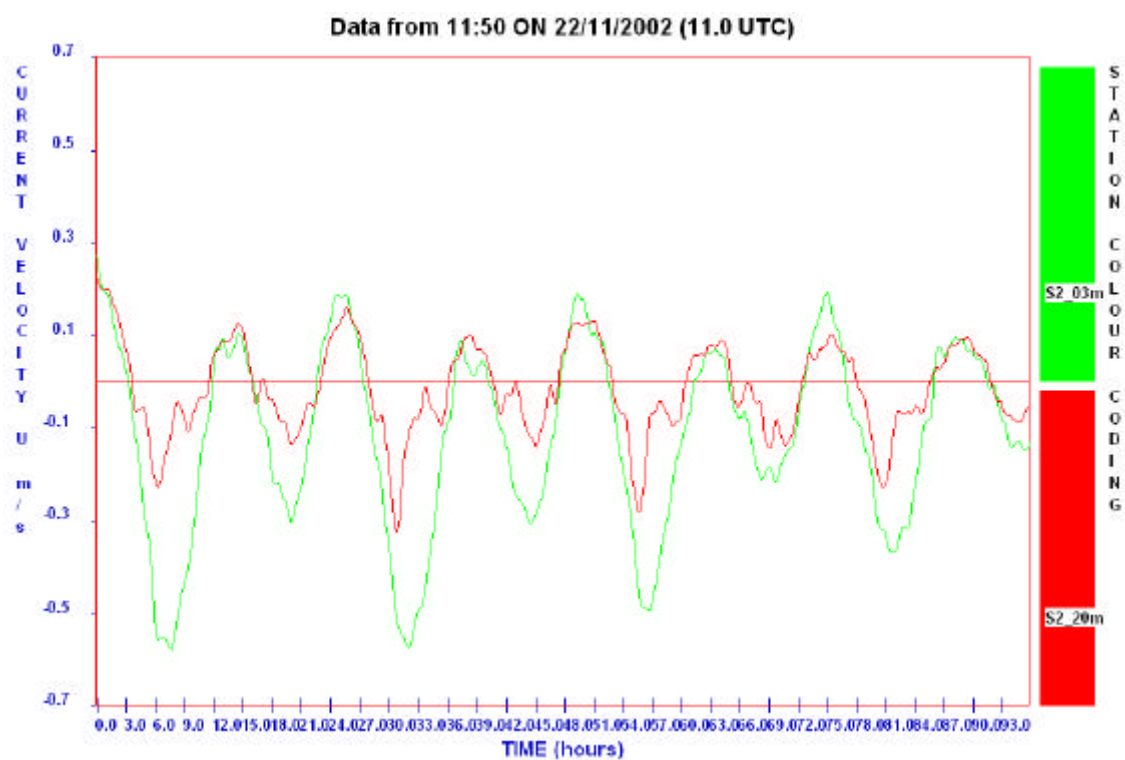


Schéma 7.40: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2

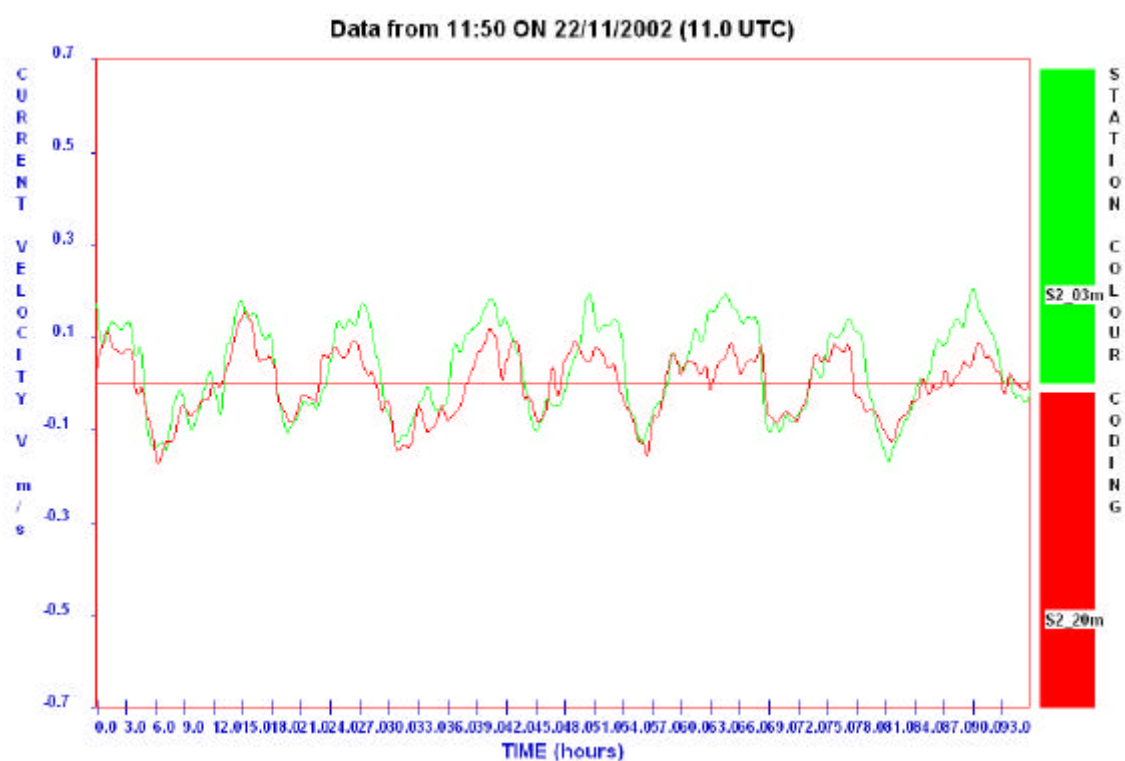


Schéma 7.41: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S2

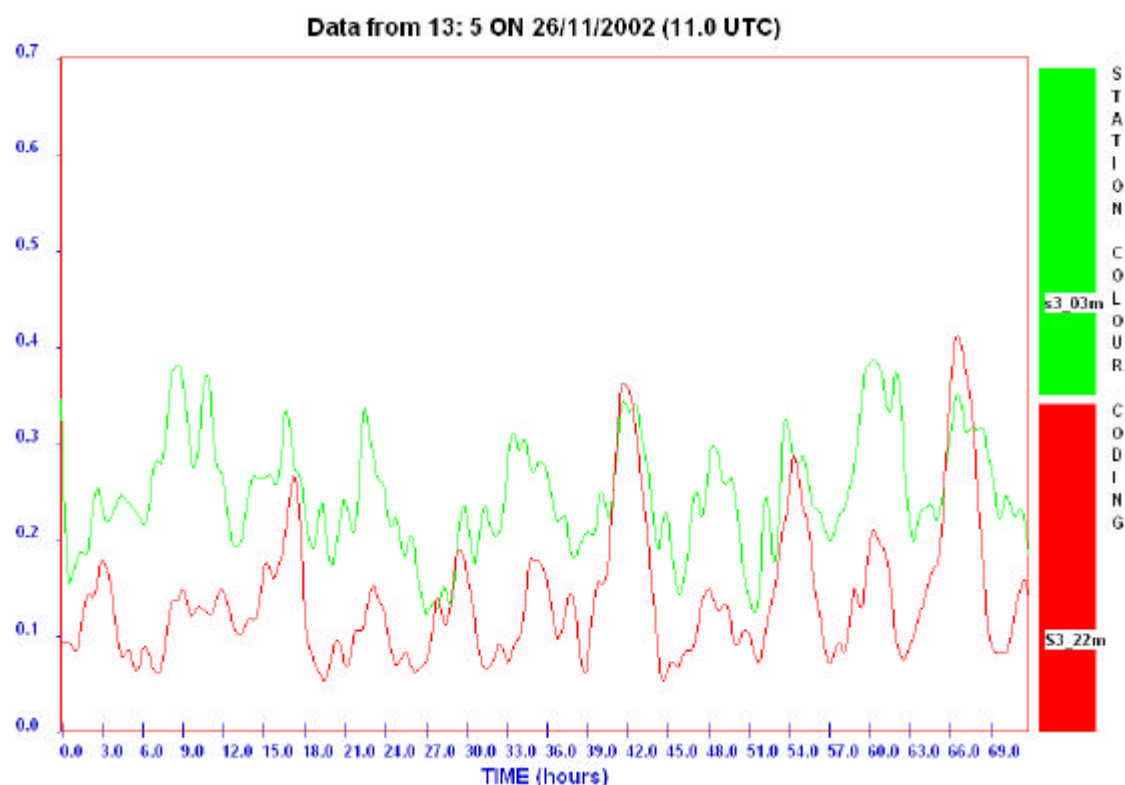


Schéma 7.42: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3

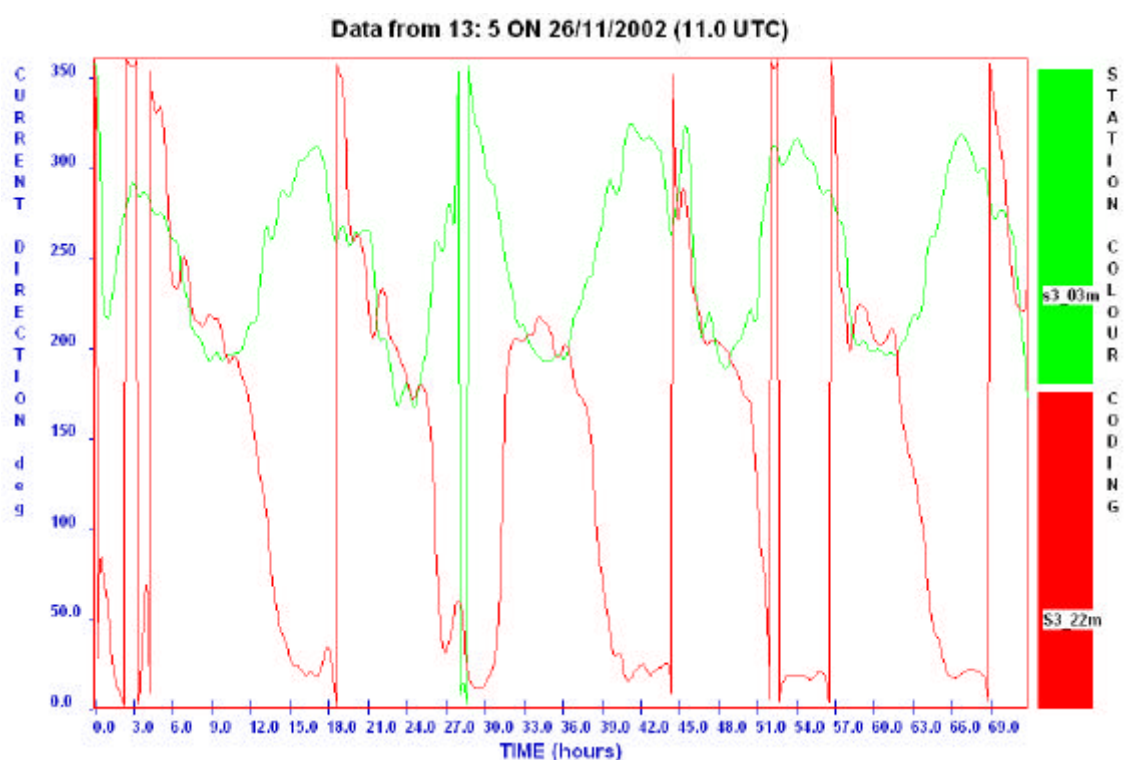


Schéma 7.43: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3

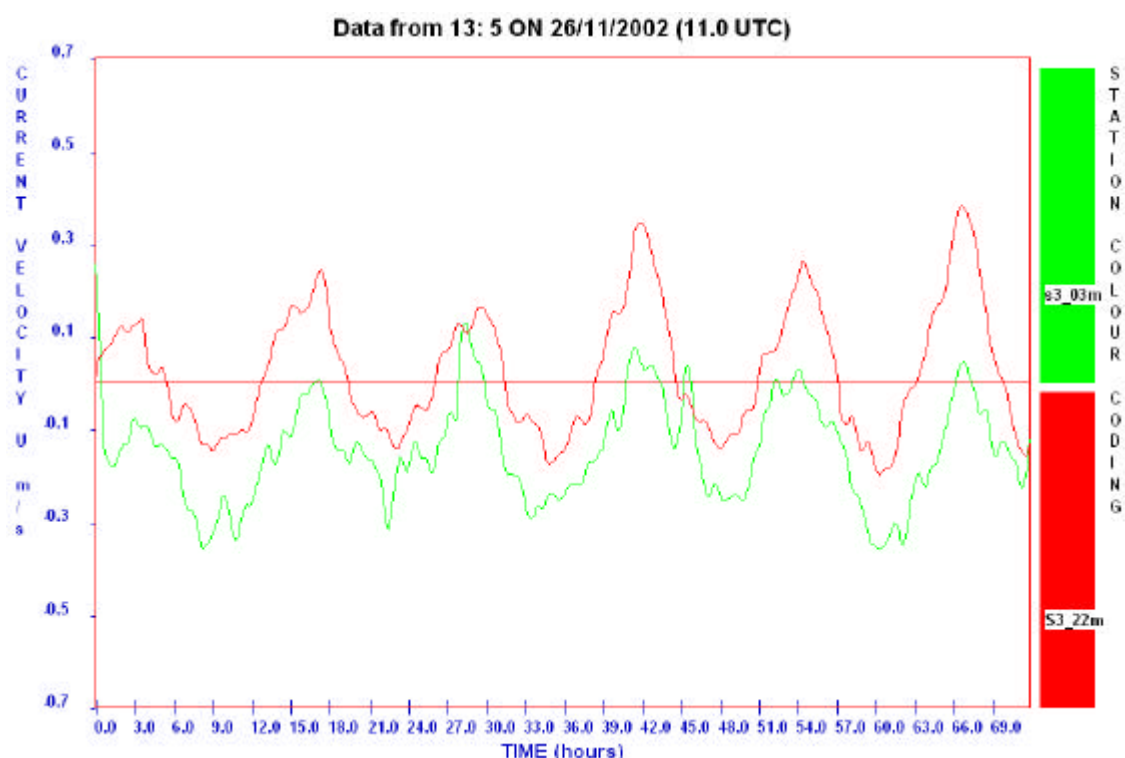


Schéma 7.44: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3

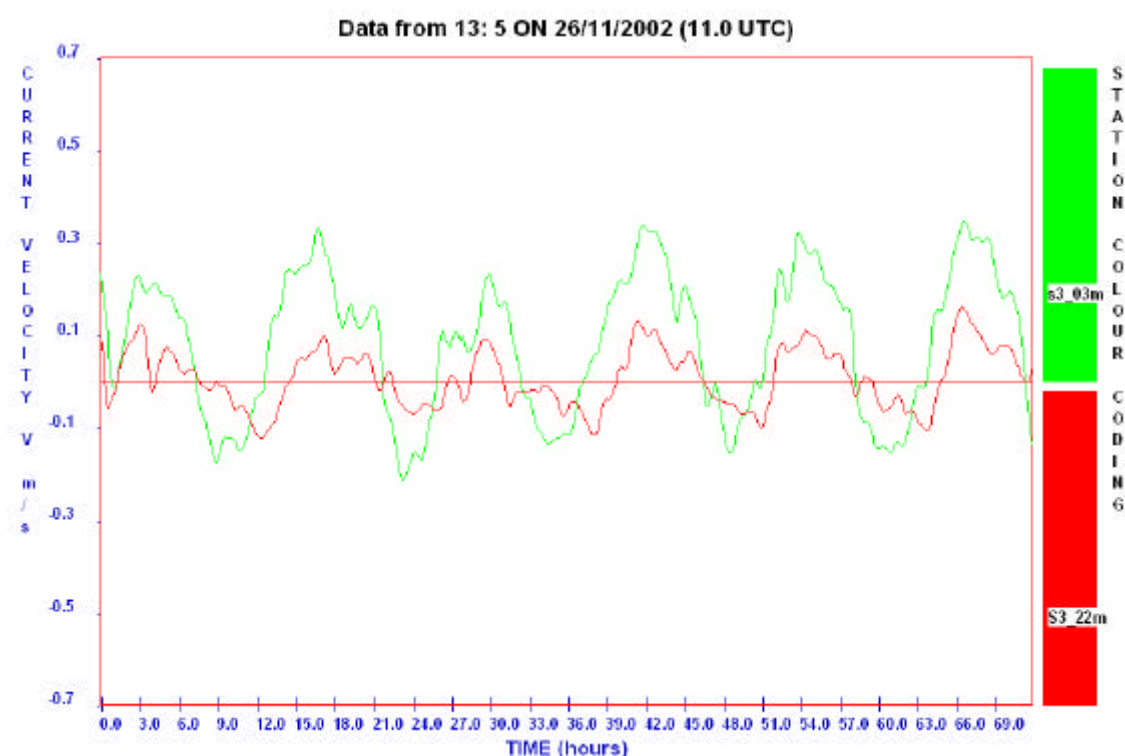


Schéma 7.45: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S3

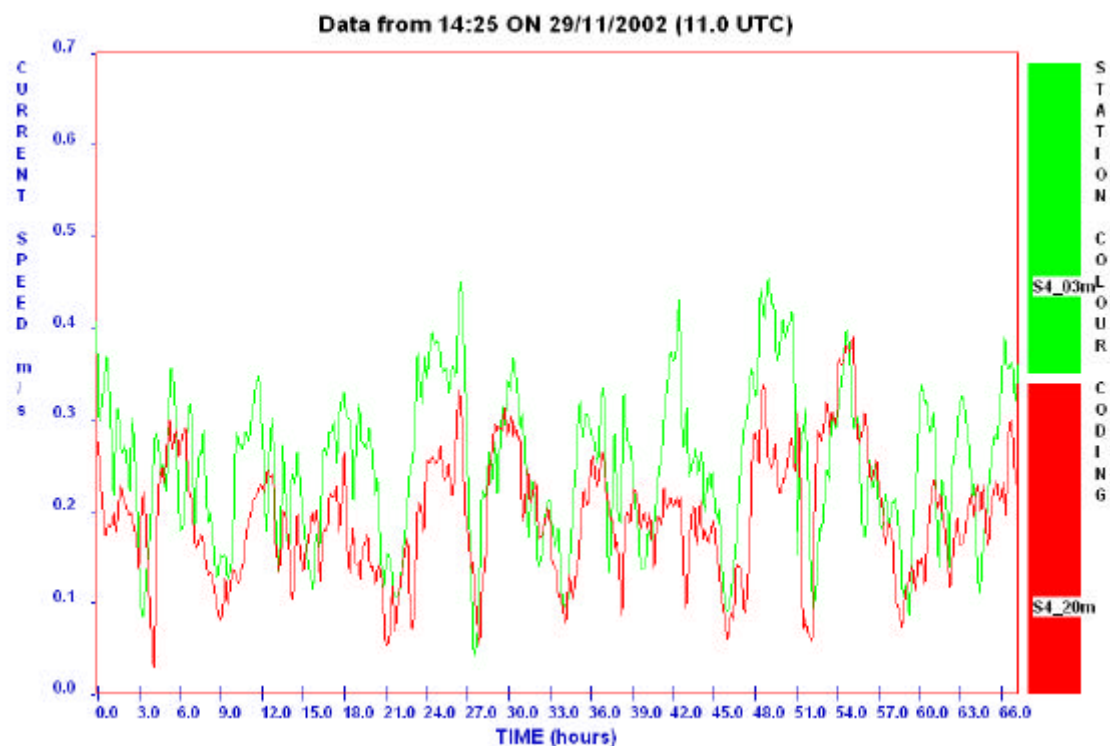


Schéma 7.46: Comparaison des vitesses des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4

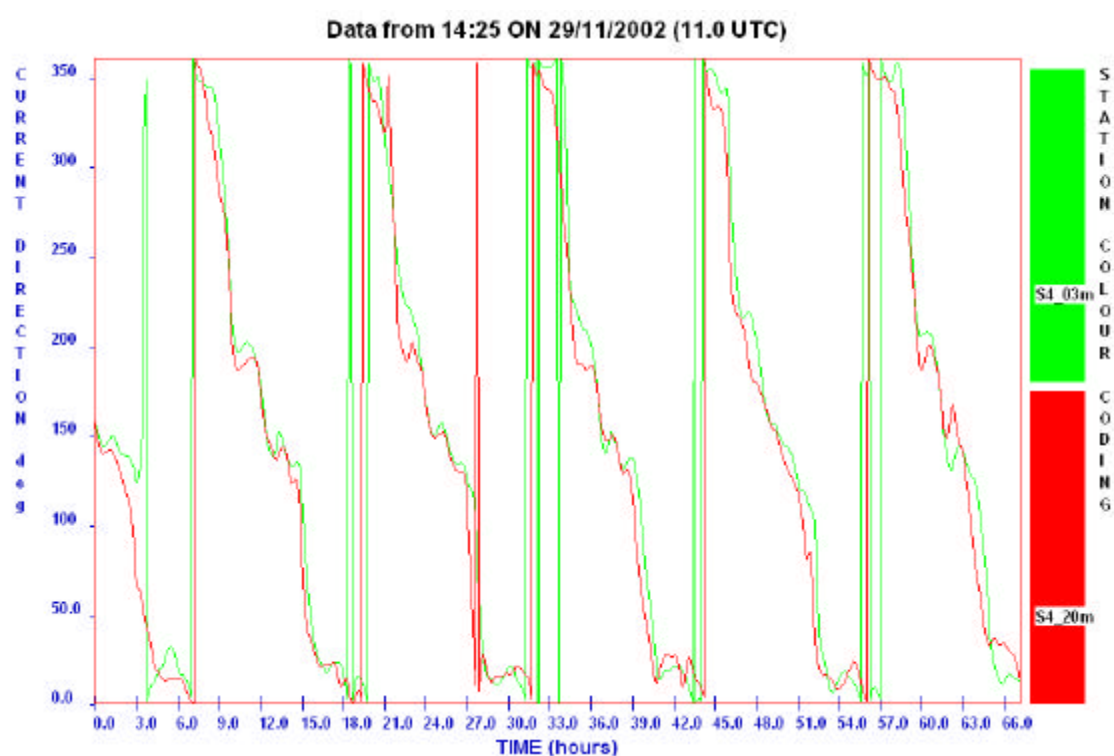


Schéma 7.47: Comparaison des directions des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4

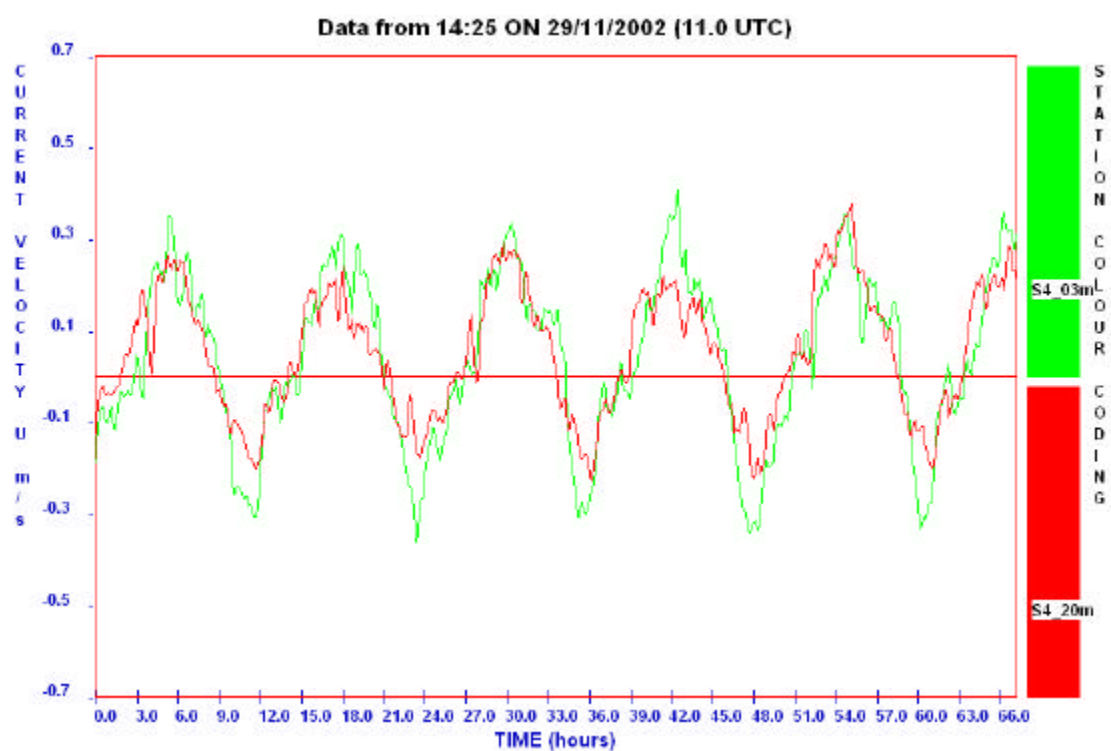


Schéma 7.48: Comparaison des éléments nord-est des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4

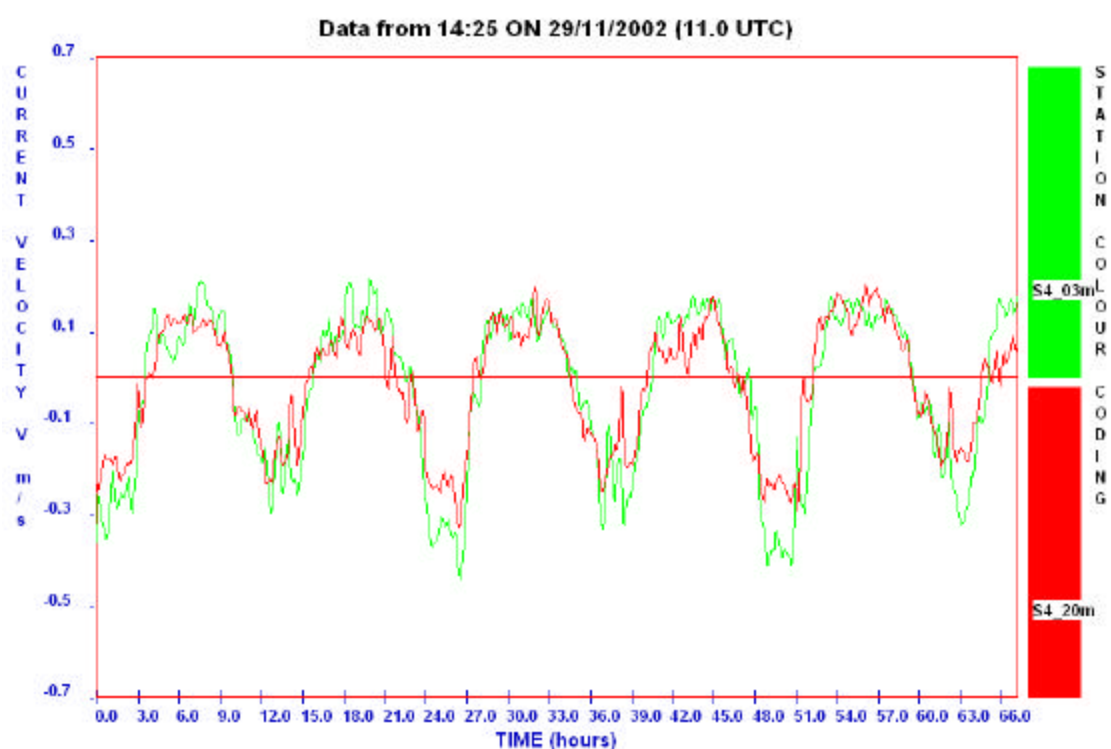


Schéma 7.49: Comparaison des éléments nord-ouest des courants de surface (verts) et de fond (rouges) à S4.

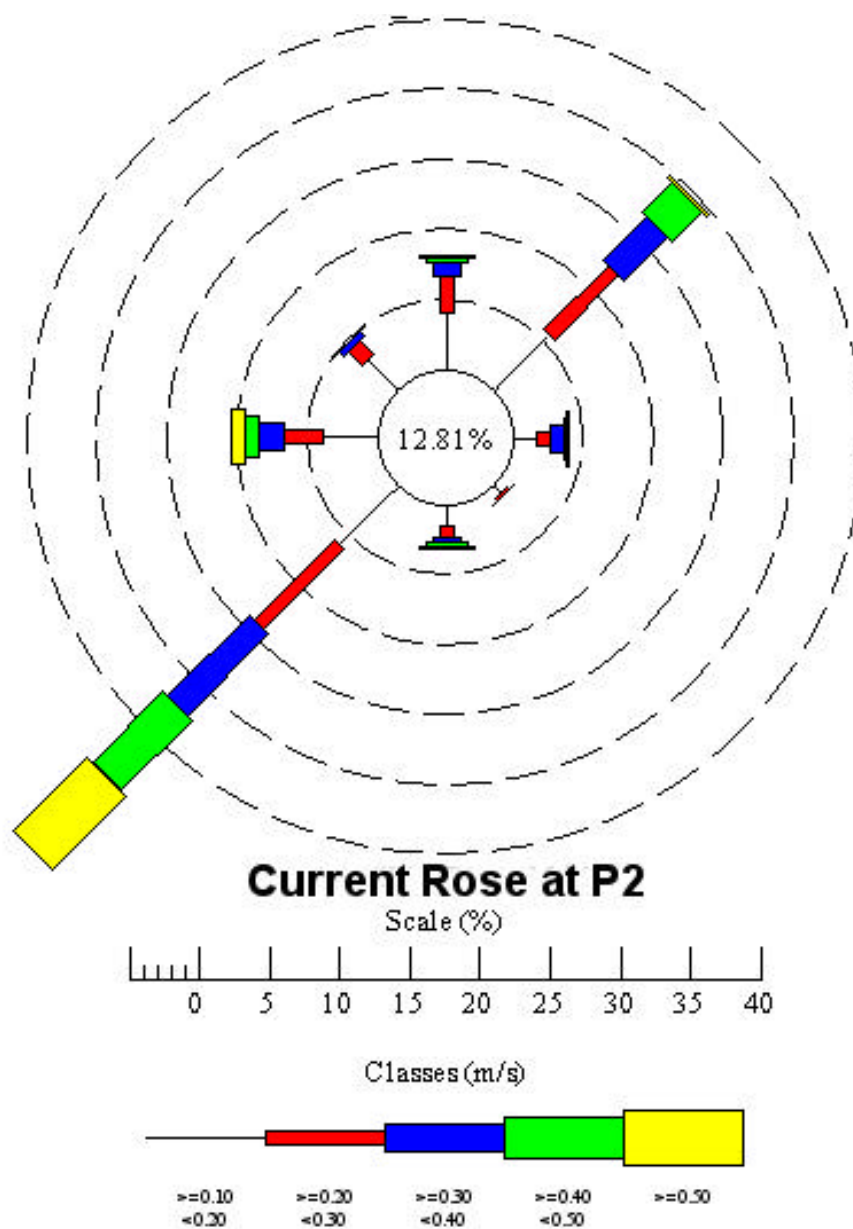


Schéma 7.50: Rose des courants dérivée des mesures prises à l'amarrage de 30 jours à P2

CURRENT SPEED at P2 & P3

Data from 15:45 ON 22/11/2002 (11.0 UTC)

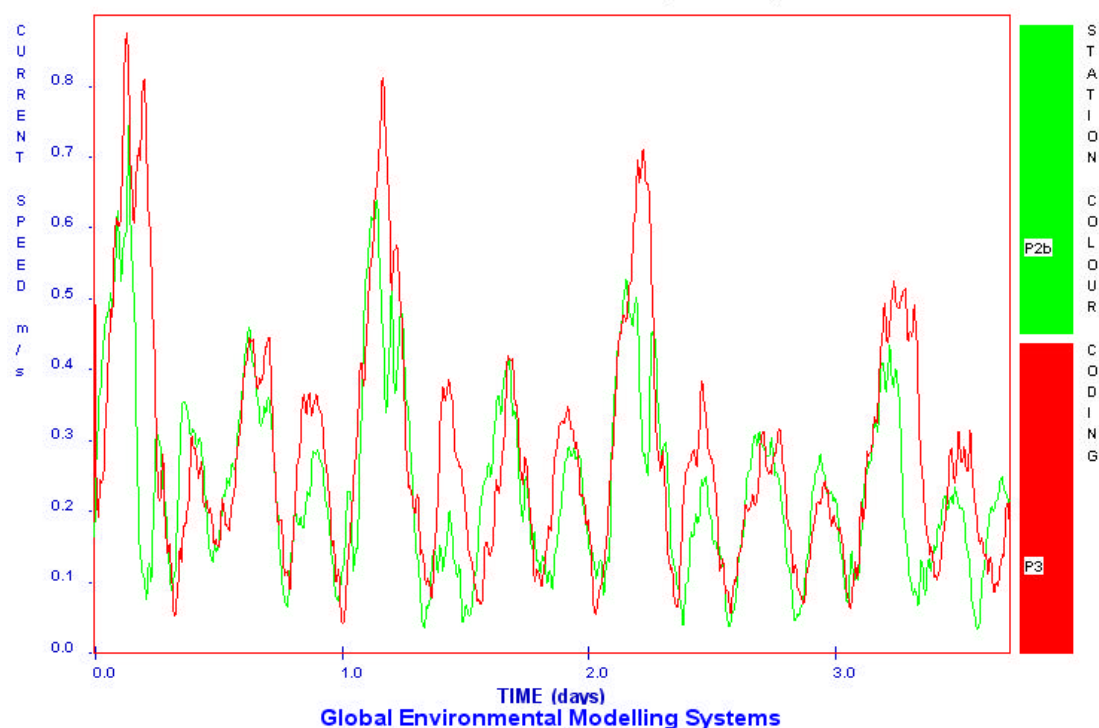


Schéma 7.51: Comparaison des vitesses des courants de surface à P2 (verts) et à P3 (rouges)

Data from 0: 0 ON 9/11/2002 (11.0 UTC)

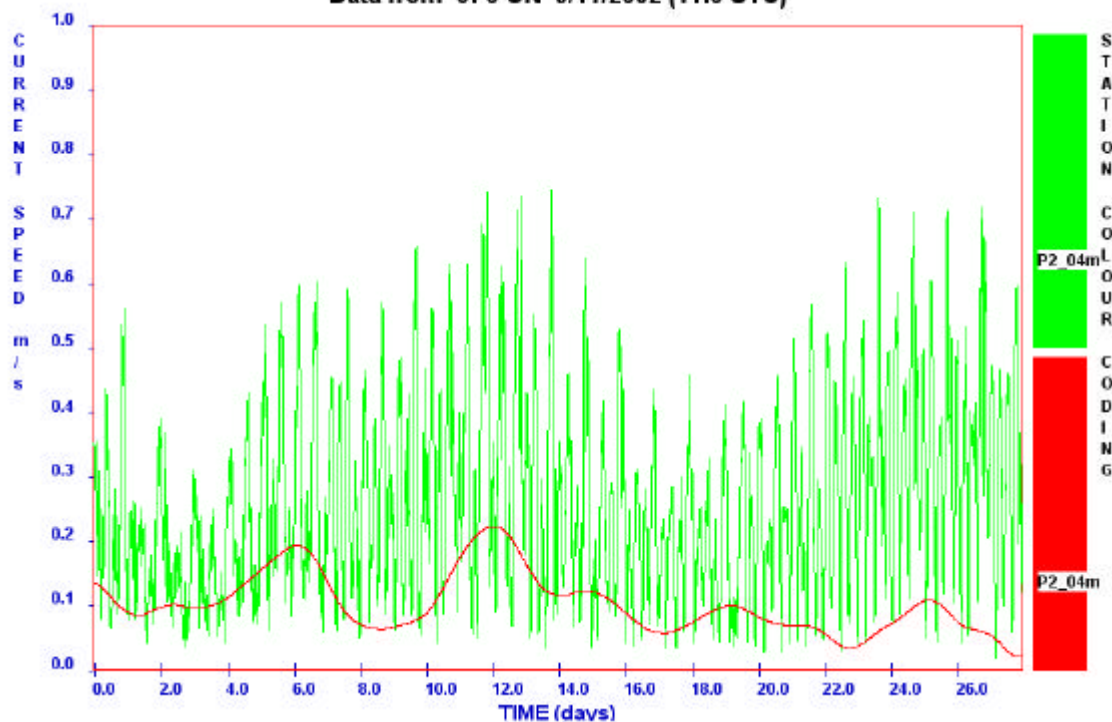


Schéma 7.52: Vitesse du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)

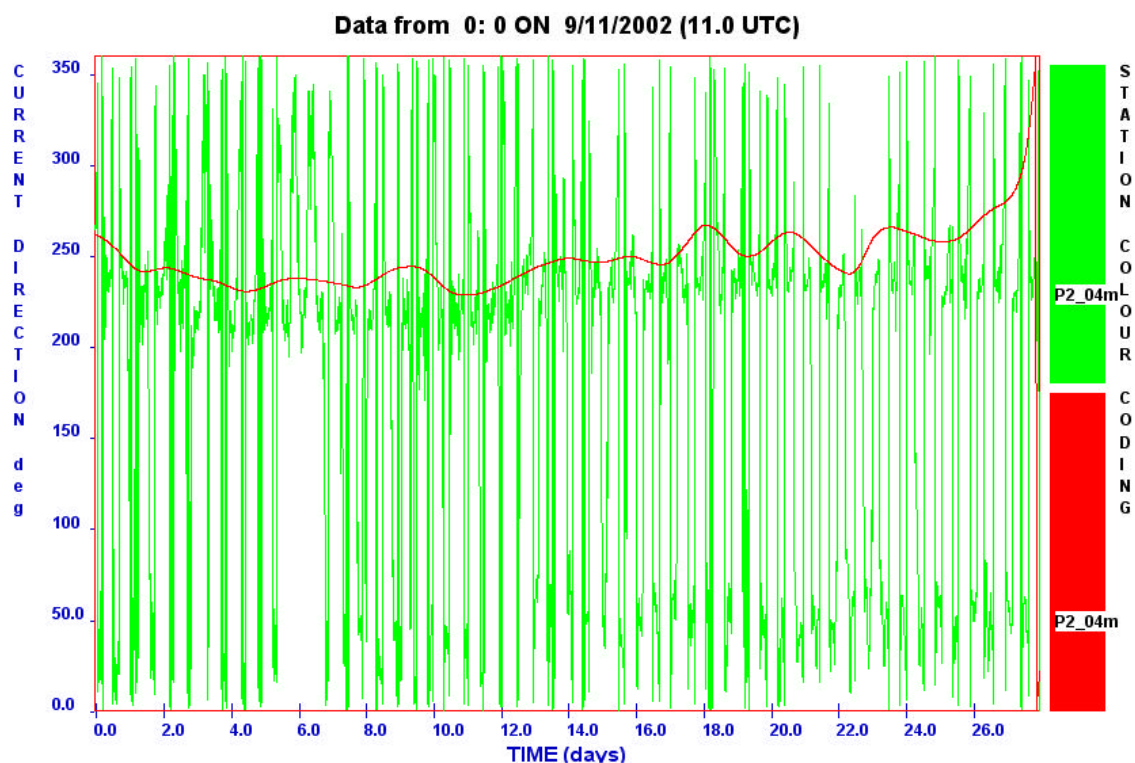


Schéma 7.53: Direction du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge)
recouvrant les données brutes (vert)

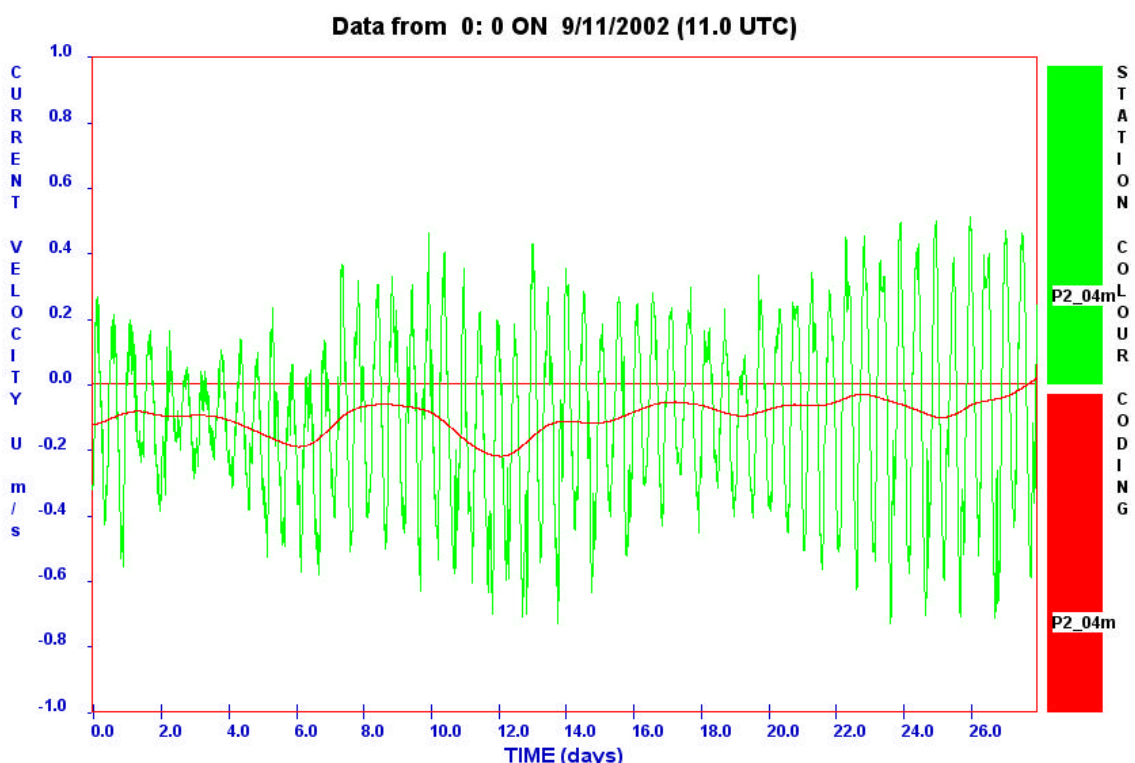


Schéma 7.54: Eléments nord-est du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2
(rouge) recouvrant les données brutes (vert)

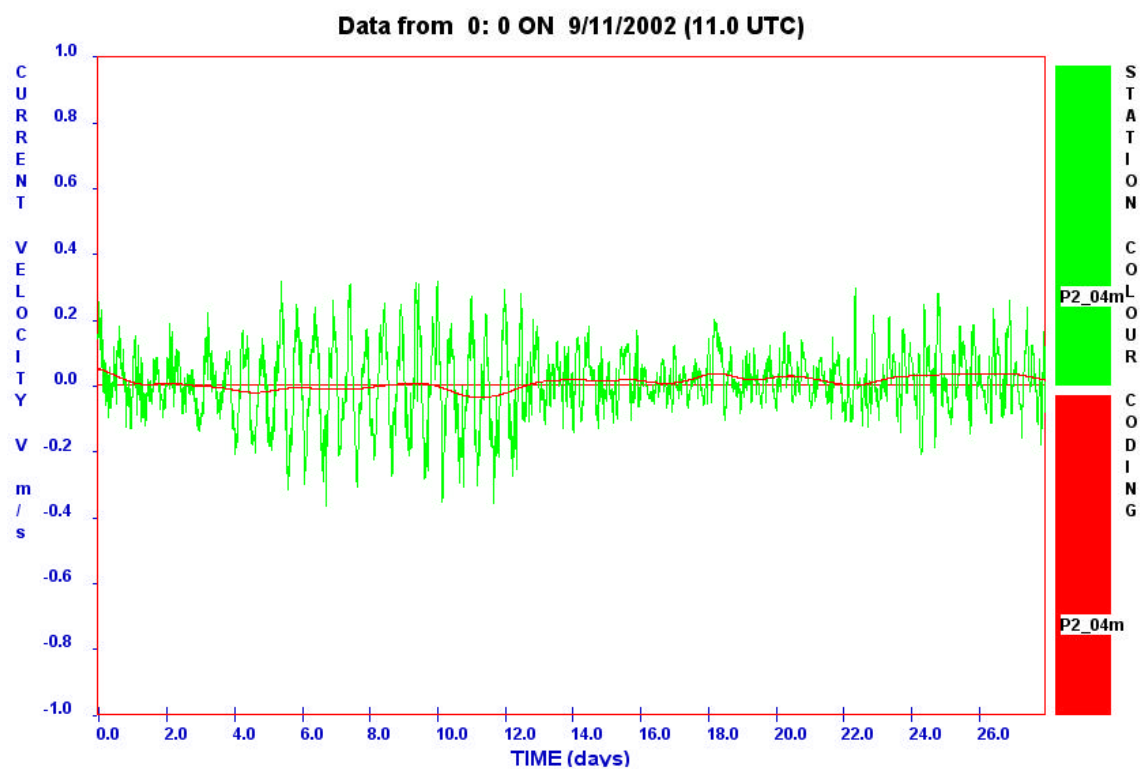


Schéma 7.55: Eléments nord-ouest du courant résiduel à l'amarrage de 30 jours à P2 (rouge) recouvrant les données brutes (vert)

8. Méthodologie de modélisation de dispersion du panache

La gamme de travaux décidée pour l'étude de la destinée du manganèse déversé dans l'océan par INCO Goro comprenait :

- Le développement de grilles bathymétriques pour la région observée ([Schéma 1.1](#))
- L'établissement du modèle GEMS 3D pour la côte océanique (GCOM3D) sur la grille bathymétrique
- L'extraction des données sur les vents et marées dans la région
- La vérification de GCOM3D avec les données ADCP durant novembre 2002
- L'opération de GCOM3D pendant 12 mois sur la base des vents et marées
- La mise en place du modèle du panache (PLUME3D) sur une grille bathymétrique à résolution fine et la définition des conditions initiales sur la base des données de dilution initiale fournies par le client.
- La modélisation par PLUME3D de la destinée du manganèse déversé par le diffuseur pendant certaines périodes au cours des 12 mois.
- L'analyse des résultats et la production d'un rapport technique résumant les méthodes et les résultats.
- La production de probabilités spatiales d'exposition, de concentrations maximales et de temps de trajet

9. Modélisation des courants océaniques

Les courants océaniques complexes du Canal de la Havannah doivent être modélisés avec un système qui a fait ses preuves. Le modèle pour la côte océanique GEMS 3D (GCOM3D) a fait ses preuves dans la modélisation des courants océaniques, en particulier en Australie où il a été le premier modèle en 3D à être utilisé dans des études de déversement dans l'océan. (Déversement océanique de Geelong, 1984). GCOM3D a prouvé sa capacité dans de nombreuses études de vérification (particulièrement pour le Bureau Australien de Sécurité Maritime [the Australian Maritime Safety Authority] et les grandes compagnies pétrolières) et la qualité de sa modélisation des courants océaniques et des marées est reconnue. GCOM3D a aussi exécuté une large gamme de tests pour les Laboratoires de Recherche Navale Américains (U.S. Navy Research Laboratories) qui ont intégré ce modèle dans leur système de prédictions océaniques.

GCOM3D a été utilisé dans un grand nombre d'études environnementales comprenant les prédictions de destinée de nappes de pétrole, sédiments, produits chimiques de l'hydrotest, déblais de forage, effets provoqués sur, et refroidissement des eaux, ainsi que dans d'autres études de modélisation des zones littorales comme tempêtes ou recherche et sauvetage en mer

GCOM3D (Hubbert 1993, 1999) calcule les courants aussi bien horizontalement que verticalement. Le modèle fonctionne sur une grille normale (dans les directions x et y) et utilise un système de séparation en strates verticales pour la coordonnée z. En d'autres termes, la structure de la profondeur est modélisée en un nombre variable de strates selon la profondeur, et chaque strate a une épaisseur constante dans la direction horizontale. Ce système est utilisé pour découpler le stress dû aux vents de surface et à la friction sur le fond et pour éviter la distorsion des prédictions pour une strate particulière, conséquence du calcul d'une moyenne des courants à plusieurs profondeurs, ce qui est le cas avec les modèles sigma de coordonnées et de 'profondeur moyenne'. La formulation de GCOM3D en fait un modèle qui peut être mis à l'échelle et déplacé dans un autre site. Le domaine du modèle, les conditions de la marée aux limites ouvertes, et la puissance du vent sont définis pour chaque application du modèle par extraction des données entreposées dans des grilles de banques de données couvrant une zone géographique plus étendue.

GCOM3D peut fonctionner comme un modèle barotrope pour les applications où les forces des vents et marées sont dominantes, ou comme un modèle baroclinique complet, quand la température et la salinité ont une influence significative sur les mouvements des eaux.

Les données satellite peuvent être prises en considération dans le processus de modélisation par assimilation dans GCOM3D pour incorporer les courants géostrophiques aussi bien que les courants qui dépendent des marées et vents locaux. C'est l'approche adoptée par GEMS pour le nouveau système australien de recherche et sauvetage en mer basé sur les courants océaniques donnés par GCOM3D et développé par AUSSAR à Canberra. L'assimilation des données est exécutée par 'poussage' appliqué au flot moyen (court terme) à chaque point de la grille. .

9.1 Grilles bathymétriques

Les grilles bathymétriques pour la région montrées au schéma 1.1 sont dérivées par digitalisation des cartes bathymétriques françaises pour la région et les données d'études locales fournies par BTH ([Schéma 5.2](#)). La résolution horizontale de la grille de GCOM3D était 250m et l'épaisseur de la strate de surface de GCOM3D était fixée à 2m. La résolution horizontale de la grille PLUME3D était 50m.

9.2 Données pour les marées

Les données pour les marées pour le modèle étaient dérivées de la grille à 1km de données pour le Pacifique sud, qui a été à l'origine développée sur la base d'un vaste programme (6 mois) de modélisation des marées assimilant toutes les données disponibles pour le Pacifique sud. Ce programme était réitéré pour chacun des dix éléments des marées selon un processus de :

- Définition des conditions aux zones limites (initialement tirées des données du modèle global des marées)
- Modélisation des marées pendant plusieurs mois
- Analyse Fourier à chaque point de la grille
- Détermination des erreurs de racine, de moyenne et de carré pour les données relevées
- Redéfinition des conditions sur les zones limites
- Réitération jusqu'à minimisation des erreurs

La validité de ces données a été vérifiée de façon très poussée. Elles forment la base du logiciel de prévision pour la modélisation des marées et ont été mises à la disposition d'un certain nombre d'états du Pacifique dans le cadre d'un programme de coopération avec CSIRO financé par AUSAID. Les données sont aussi incluses dans la banque de données utilisée par le Bureau Australien de Sécurité Maritime pour leurs systèmes de Recherche et Sauvetage en mer et de prédictions des pollutions accidentelles de pétrole. Les données ont prouvé être une source exacte des éléments, amplitudes et phases pour la modélisation océanique dans cette région.

Les conditions des marées ont été rétro-crées pour représenter celles qui prédominaient au moment où les relevés des vents avaient été faits. Ainsi, les courants ont été rétro-crées sur la base des effets combinés des vents et des marées dans la

zone d'étude. La puissance des marées a été dérivée des variations de la hauteur des marées calculées sur la base des éléments les plus élevés dans la zone d'étude.

10. Vérification de GCOM3D

Pour exécuter la modélisation du déversement du panache, la capacité de GCOM3D à représenter les courants océaniques avec suffisamment d'exactitude devait être établie

Dans ce but, trois études de vérification ont été faites :

- d) Une période d'essai (24 novembre au 1er décembre 2002) a été choisie dans les relevés des courants à l'amarrage de 30 jours (P2 sur [Schéma 10.1](#)) près du diffuseur de déversement proposé. Les données des vents pour cette période ont été tirées des archives LAPS de GEMS de modélisation des vents, et GCOM3D a été appliqué sur la grille bathymétrique de 250m couvrant la région définie sur le schéma 10.1 basée sur les vents et la marée.
- e) La même procédure a été suivie pour la période d'observation de 5 jours au site E1 à l'entrée est du canal, à où les courants les plus forts avaient été relevés.
- f) Le client a fourni les données pour un certain nombre de trajectoires de dérive court terme près du couloir du pipeline et les prédictions de GCOM3D ont été comparées avec deux trajectoires tirées de ces données

Les résultats des comparaisons entre les prédictions de GCOM3D et les observations au site P2 sont illustrés par les schémas 10.2 à 10.5. Il est clair que la concordance obtenue aussi bien pour les variations du niveau de la mer ([Schéma 10.2](#)) que pour les courants de surfaces (Schémas 10.3 to 10.5) était excellente.

Un même niveau de concordance a été obtenu entre les prédictions des courants le long du Canal de la Havannah faites par GCOM3D et les observations au site E1 (Schéma 10.6).

[Schéma 10.7](#) illustre le résultat d'une trajectoire de dérive qui couvre le changement de marée et qui semble aussi être influencé par les vents de sud-est. Pour illustrer ce phénomène, le trajet a été simulé en tenant compte de la force de la marée et la trajectoire illustrée par le [Schéma 10.8](#) a été obtenue.

[Schéma 10.9](#) illustre le résultat d'un autre trajet de dérive pendant la marée descendante.

Toutes les études de vérification montrent une excellente concordance entre les prédictions du modèle et les observations. Ceci constitue un gage d'assurance que la simulation des courants, à long terme, dans le Canal de la Havannah, pour la modélisation du déversement du panache, est une excellente représentation de la réalité du mouvement des courants.

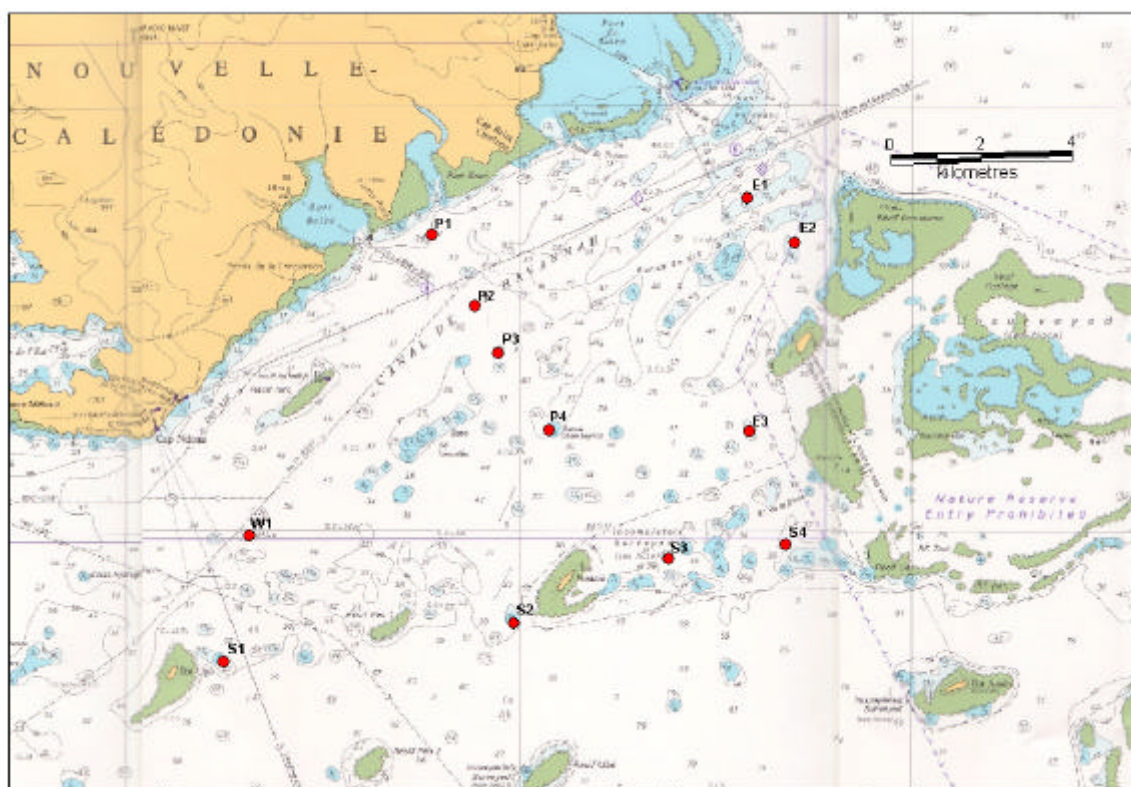


Schéma 10.1: Emplacement des sites d'amarrage dans le Canal de la Havannah. Le site long terme prévu pour le diffuseur était à P2

(* pour les schémas suivants : abscisse : temps en heures - ordonnée :vitesse/direction des courants)

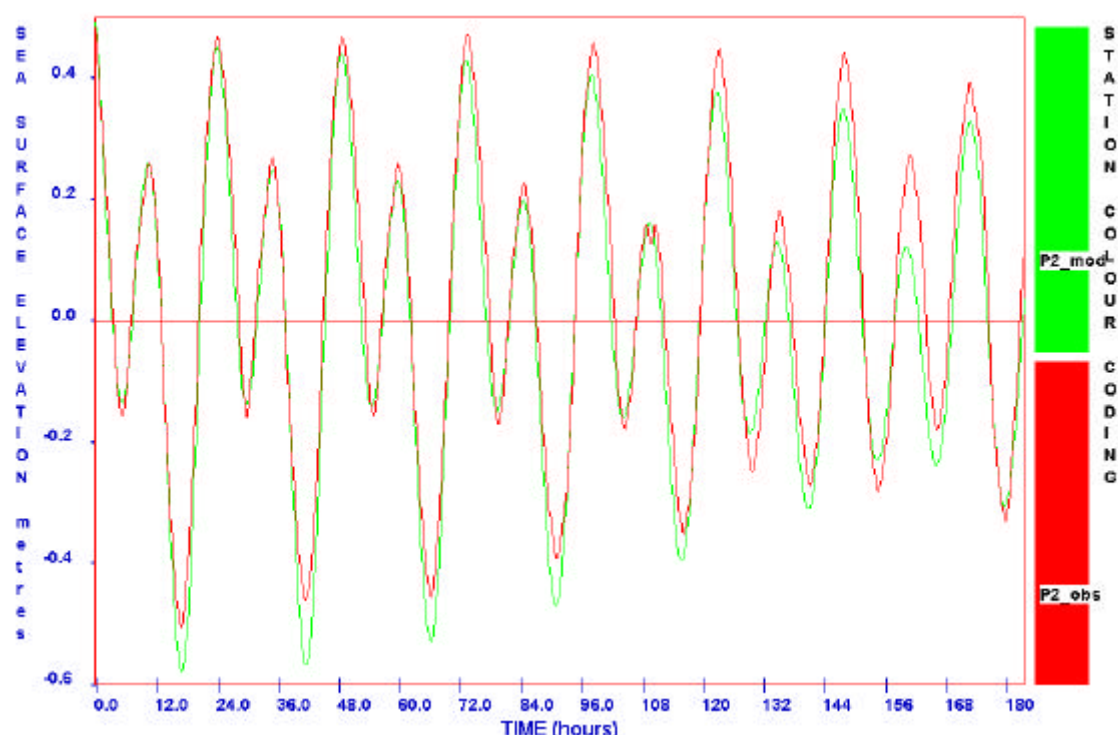


Schéma 10.2: Comparaison des niveaux de la mer prédits par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002

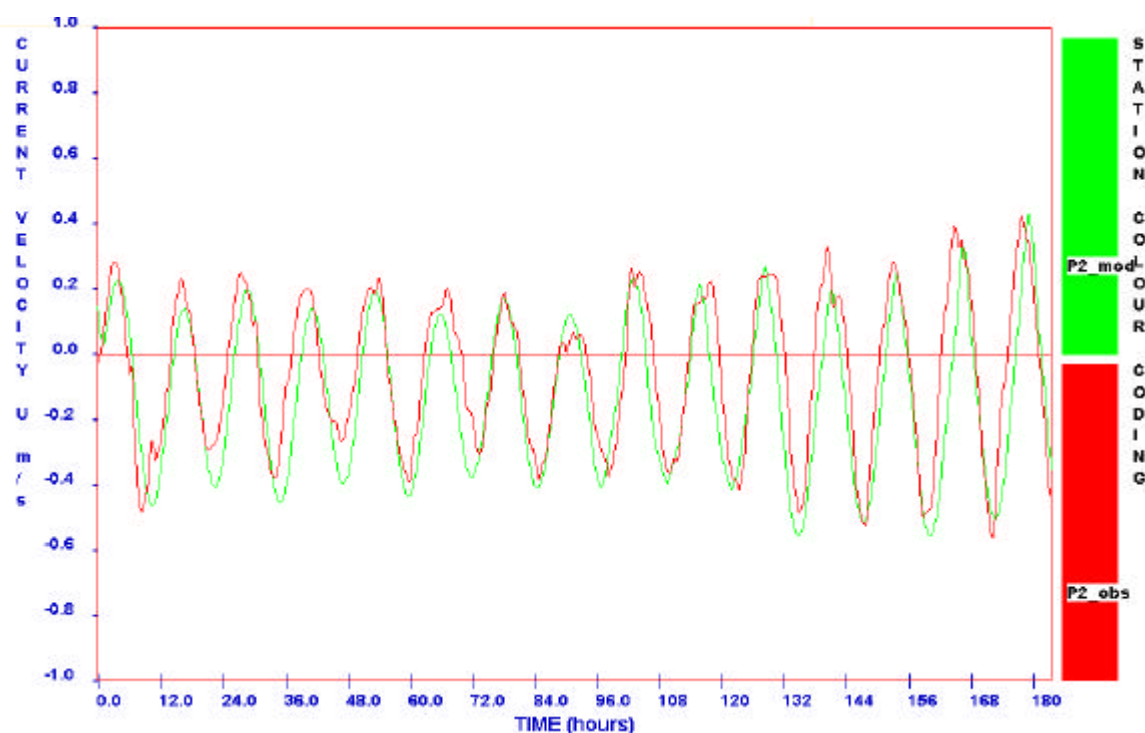


Schéma 10.3: Comparaison des vitesses des courants près de surface le long du Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.

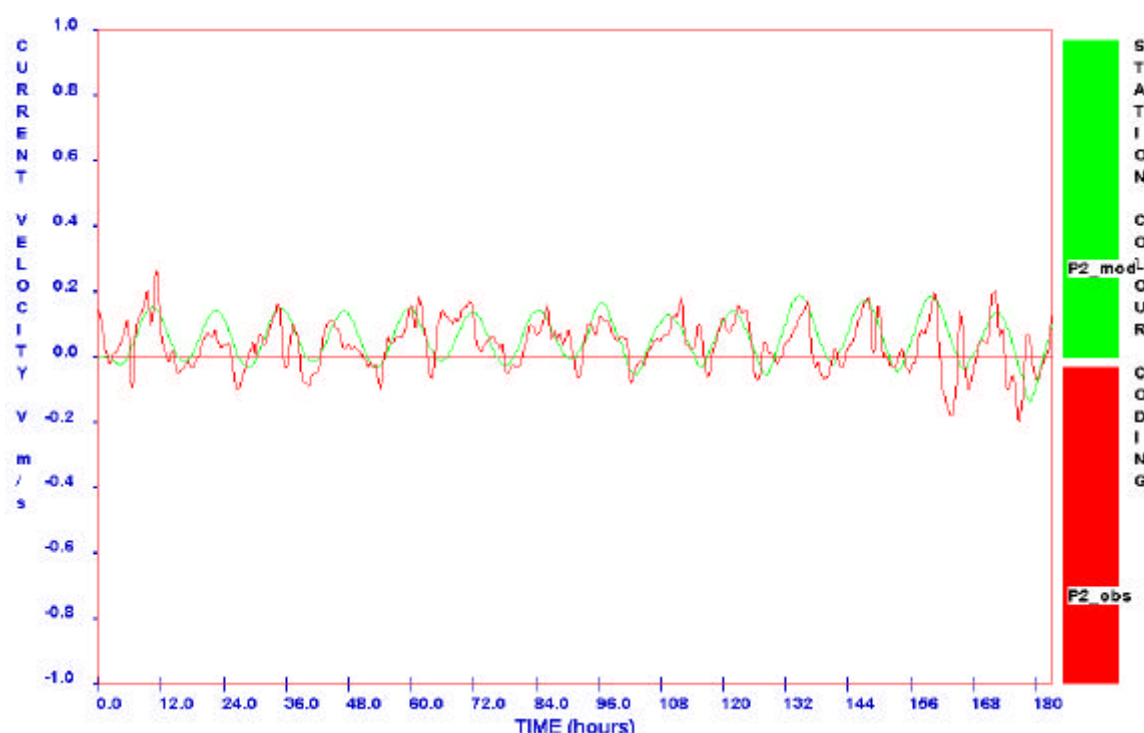


Schéma 10.4: Comparaison des vitesses des courants près de surface transversaux dans le Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.

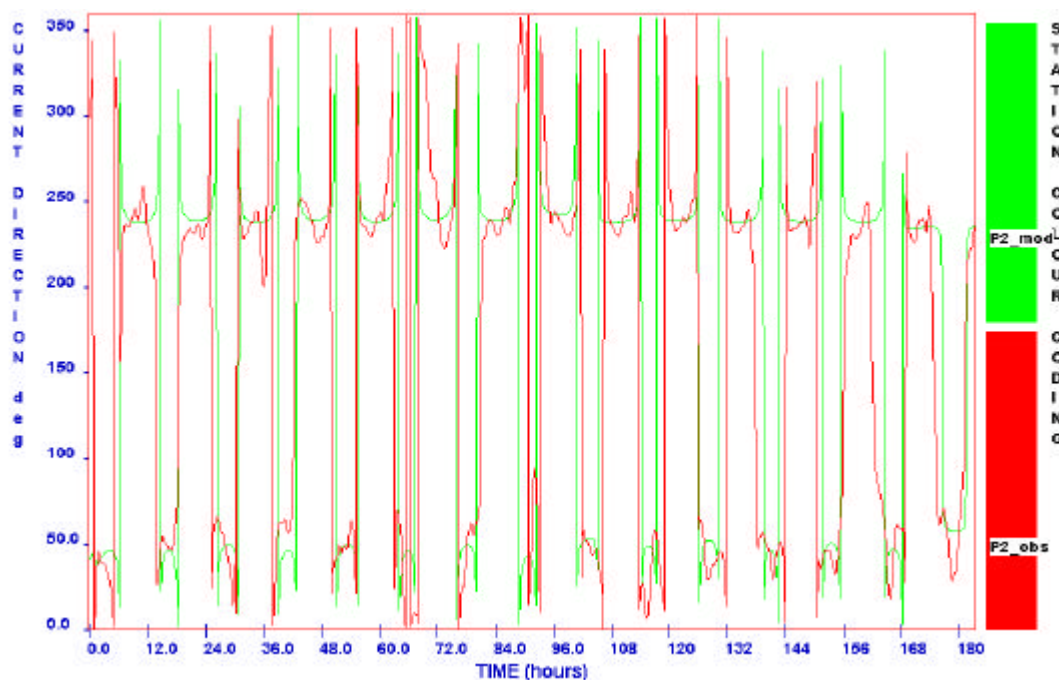


Schéma 10.5: Comparaison des directions des courants prédites par GCOM3D (vert) avec les niveaux de la mer (rouge) à P2 pendant 8 jours à partir du 24 novembre, 2002.

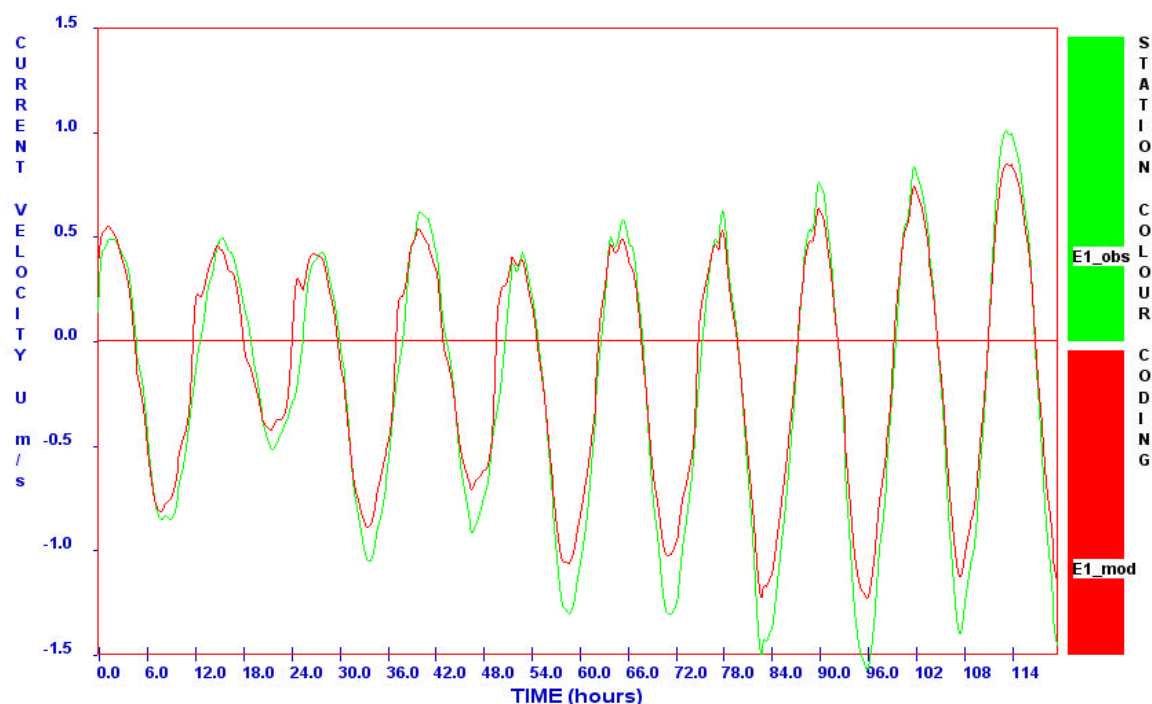


Schéma 10.6: Comparaison des vitesses des courants près de surface le long du Canal de la Havannah prédites par GCOM3D (vert) avec les observations (rouge) à l'extrémité est (E1) pendant 5 jours à partir de 16.00 le 11 novembre, 2002.

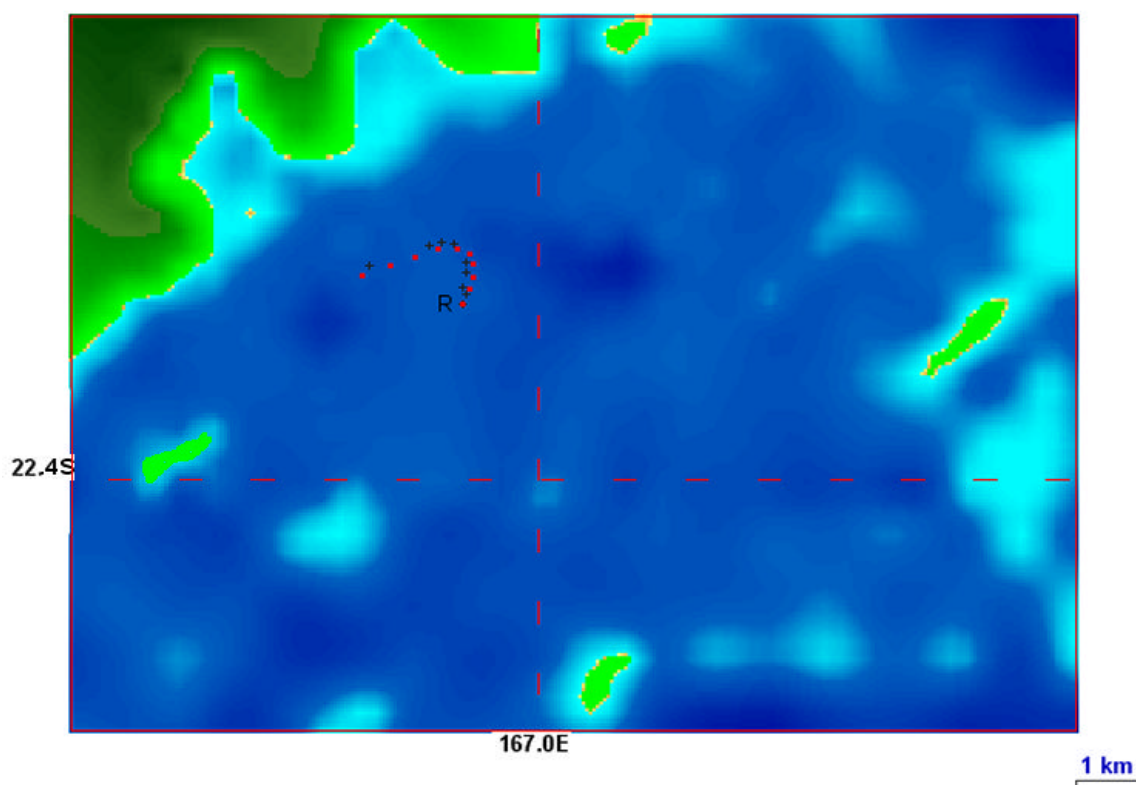


Schéma 10.7: Comparaison du trajet de dérive prédit par GCOM3D (rouge) avec la dérive observée (noire) d'un drifter lâché à (R) à 1259 le 28 février, 2003

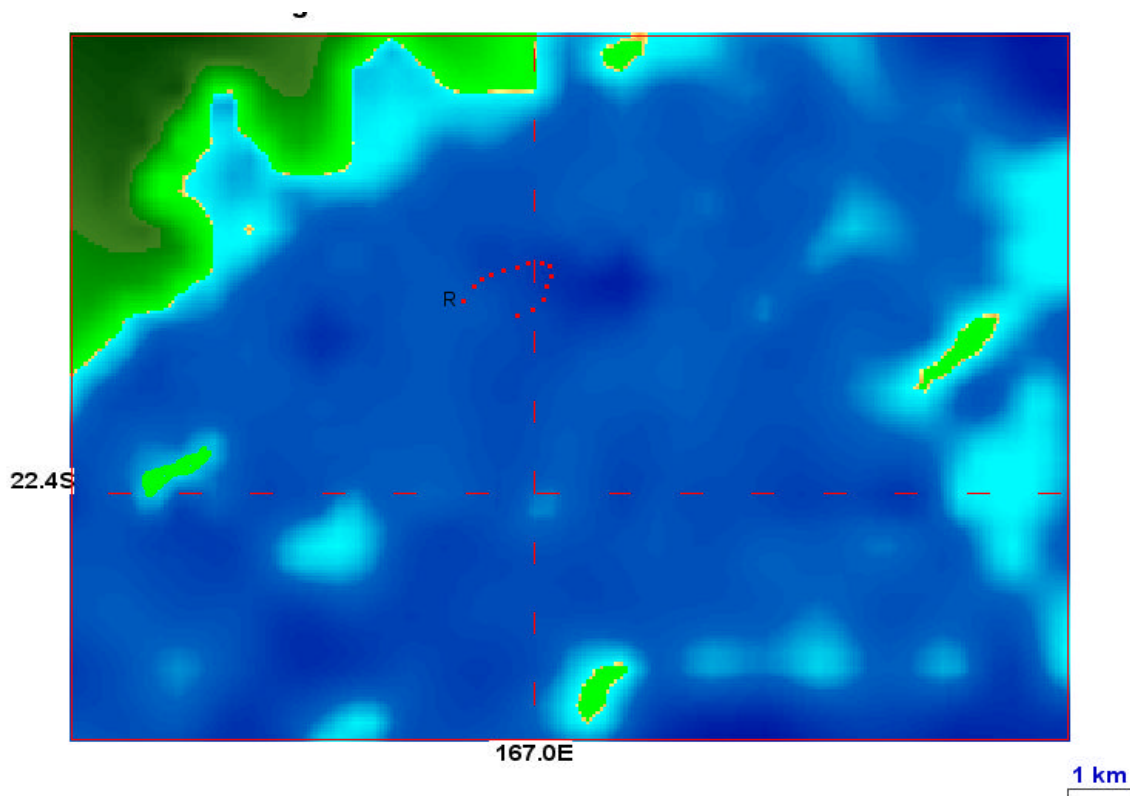


Schéma 10.8: Le trajet en surface prédit par GCOM3D (avec seulement la force de la marée) pour le drifter lâché à (R) à 1259 le 28 février, 2003.

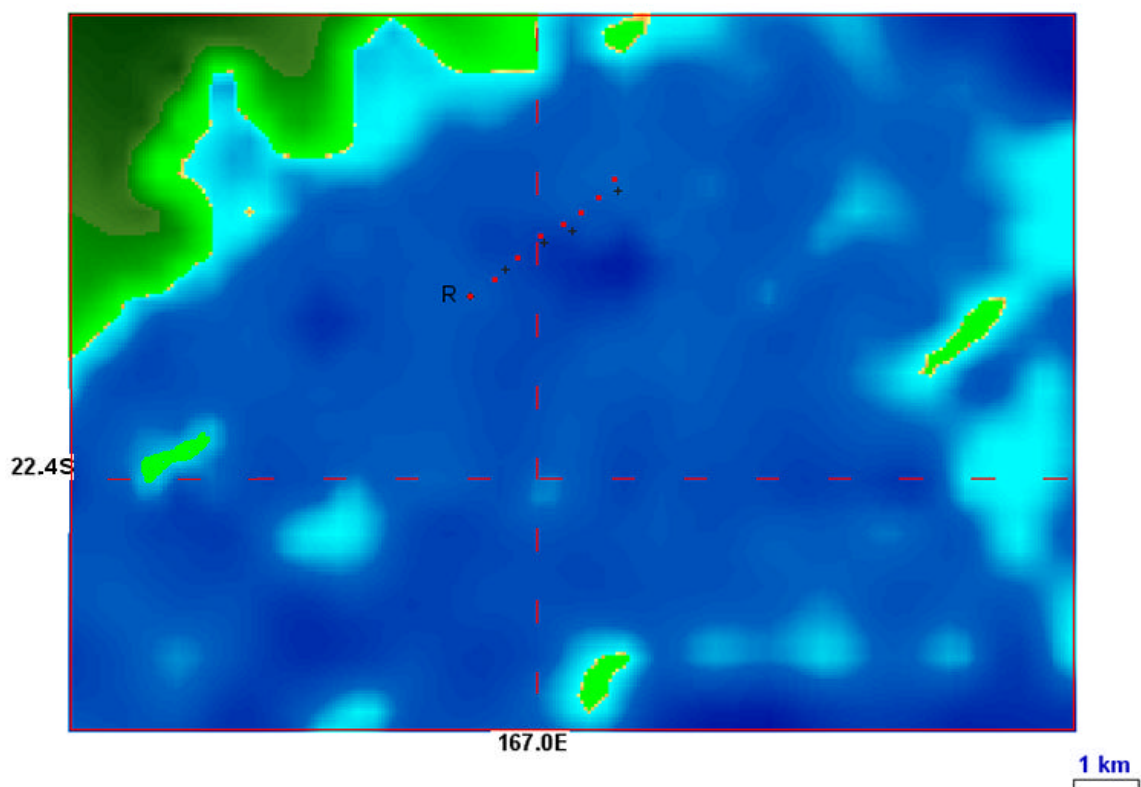


Schéma 10.9: Comparaison du trajet de dérive prédit par GCOM3D (rouge) avec la dérive observée (noire) d'un drifter lâché à 1003 le 28 février, 2003

11. Modélisation du panache

La destinée du manganèse déversé par le diffuseur de déversement dans l'océan du projet Nickel INCO Goro a été étudiée à l'aide du modèle de déversement du panache GEMS 3D (PLUME3D).

PLUME3D est le modèle intégré 3D à haute résolution de dispersion de panache qui a été développé par GEMS pour modéliser le comportement d'une vaste gamme de produits déversés tels que les sédiments, eaux usées, huiles et produits chimiques dans des conditions stipulées (quantité, taux etc). Il a été le premier modèle de panache à être utilisé pour l'étude de déversement océanique de Geelong (Geelong Ocean Outfall Study) en 1984. Le modèle de prédiction pour les pollutions accidentelles de pétrole OILTRAK3D est un sous- modèle de PLUME3D.

Les caractéristiques essentielles de PLUME3D sont les suivantes ::

- Compatibilité 3D absolue avec GCOM3D
- Logiciel authentique PC Windows
- Sortie des données compatibles avec GIS
- Opère sous ArcGIS 8.2

PLUME3D utilise les prédictions de courant de GCOM3D pour établir les conditions de l'océan dans lesquelles le panache est déversé. La structure tridimensionnelle du modèle permet de simuler le panache à travers la colonne d'eau en tenant compte des effets des phénomènes naturels tels que vagues de surface, diffusion horizontale, dispersion et mélange vertical. Le modèle de panache peut être utilisé de façon stochastique pour simuler un grand nombre de phénomènes imprévus, ou de façon déterministe dans les études de cas particuliers.

PLUME3D peut modéliser le comportement d'une variété d'éléments en une seule opération avec volume donné sur la densité et autres paramètres physiques et chimiques. Le modèle indique la température, masse et niveaux de concentration à la surface, le long du littoral, dans les sédiments ou dans la colonne d'eau. Dans le cas d'éléments multiples, le modèle peut indiquer la distribution de chaque élément individuellement.

12. Résultats de la modélisation des courants océaniques et du déversement du panache

12.1 Modélisation des courants par GCOM3D

Pour établir les courants océaniques dans la région, GCOM3D a fonctionné pendant 12 mois sur la base du modèle LAPS pour les vents et les marées. Il n'a pas été tenu compte de l'influence des courants géostrophiques entrant dans le Canal de la Havannah, car les données des compteurs suggèrent qu'elle est minimale. Les conditions et paramètres de base adoptés pour l'opération de GCOM3D sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4: Résumé des paramètres d'installation du modèle utilisé pour la modélisation hydrodynamique.

Dimensions du modèle	3 (latitude, longitude and profondeur).
Strates de profondeur	30 d'épaisseur variable. Strate de surface 2m d'épaisseur.
Strates de profondeur sorties	Toutes strates
Taille du domaine du modèle	0.55 deg x 0.26 deg
Résolution de la grille bathymétrique	250 m
Forces	
- Marées astronomiques	7 éléments de marée: k2, s2, m2, n2, k1, p1, o1
- Météorologiques	3 Données de vitesse horaire des vents, direction et pression atmosphérique fournies par le modèle de prévisions du Bureau Météorologique Australien (LAPS)
Courants géostrophiques (non utilisés)	Courants géostrophiques dérivés des observations du satellite NOAA tous les 7-10 jours.
Période de simulation hydrodynamique	Janvier à décembre 2001.
Intervalle de sortie des données	1 heure

12.2 Modélisation du déversement du panache par PLUME3D

Les caractéristiques du déversement océanique du projet Nickel INCO Goro modélisé par PLUME3D sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5: Caractéristiques du projet de déversement océanique INCO Goro dans le Canal de la Havannah.

Caractéristiques	Manganèse
Taux de déversement	0.528 m ³ /sec
Densité de déversement	998 kg/m ³
Concentration Initiale de Manganèse	100 mg/litre
Profondeur du déversement	32 m

Le mélange des produits déversés dans l'environnement océanique peut être considéré en deux étapes : à proximité et à distance. Le mélange à proximité prend place au moment où les jets de déversement entrent en contact avec les eaux de l'océan à proximité du diffuseur et dépend de la configuration du diffuseur et des conditions océaniques. Les variables principales du diffuseur sont la longueur du diffuseur, la taille et l'espacement des hublots et des taux de déversement. Les variables océaniques principales sont la vitesse et la direction des courants et la stratification de la densité.

Le mélange à proximité n'a pas été simulé dans cette étude. Les données pour le mélange initial ([Tableau 6](#)) ont été fournies par BTH d'après les études de Roberts (2003) sur la base de la vitesse des courants le long du Canal de la Havannah.

Du fait que le diffuseur est long et les courants des marées forts, les dilutions initiales sont élevées et le panache est en général submergé. Les dilutions dans le [Tableau 6](#) sont montrées sous forme de moyenne (pour les profils de toutes les strates) pour chaque vitesse du courant. La déviation standard autour de la moyenne est aussi donnée.

L'effet de la stratification dans la modélisation à distance a été inclus en entrant la moyenne de la dilution à chaque vitesse, plus un élément choisi au hasard dans une distribution de moyenne zéro et la déviation standard donnée dans le [Tableau 6](#).

Tableau 6 : Dilution à proximité du site en fonction de la vitesse du courant .

Vitesse du courant	Dilution minimale	
	Moyenne	Dév Std
0.1	690	103
0.2	1704	266
0.3	3234	525
0.4	3807	622
0.5	4318	707
0.6	4785	787
0.7	5217	862
0.8	5622	930
0.9	6005	998
1.0	6373	1063
1.1	6725	1125
1.2	7054	1187
1.3	7381	1237
1.4	7697	1290
1.5	7998	1351

Les équations empiriques suivantes ont été dérivées de Roberts (2003) pour s'ajuster aux données du [Tableau 6](#):

Dilution minimum: $S_m = -2307u_c^2 + 8169u_c + 690$

Déviati n standard de dilution minimum: $SD = -367u_c^2 + 1355u_c + 103$

u_c représente la vitesse du courant en m/s.

Les concentrations de manganèse après dilution initiale ont ensuite été obtenues en divisant la concentration de manganèse dans le déversement brut par la dilution à proximité, calculée en fonction de la vitesse du courant.

La modélisation du panache à distance du site initial a été exécutée pendant chacun des 12 mois de 2001 à trois sites de déversement, en utilisant les champs 3D de données horaires des courants de GCOM3D. Les trois emplacements choisis pour le déversement étaient l'emplacement actuellement proposé pour le diffuseur (P2) qui est celui où les courants observés étaient les plus forts le long du transect du pipeline (P3) et un emplacement (nommé P0 dans les schémas) situé approximativement à 500m plus près du rivage que P2. Ce dernier emplacement a été choisi en vue d'étudier s'il est ou non nécessaire d'aller aussi loin que P2 dans le canal.

Chaque heure, la modélisation du panache a produit instantanément des concentrations de manganèse, pendant l'année entière et ces valeurs peuvent varier de façon significative selon que les courants sont forts ou faibles (par exemple au changement de marée). En Australie, il est donc habituel de calculer les moyennes journalières qui couvrent une gamme de conditions des marées, plutôt que de se concentrer sur les valeurs instantanées. Cette approche a été adoptée pour ce compte-rendu et les résultats sont présentés sous deux formes :

- a) [Schémas 12.1](#) à 12.24 montrent une sélection d'exemples prédits pendant les mois de janvier, avril, juillet et octobre. Les moyennes des concentrations journalières pour un jour donné pour les déversements à P2, P3 et P0 sont présentés ensemble pour faciliter la comparaison. Ces résultats ont été choisis sur la base de leur concentrations élevées (dilutions minimales) pour ce mois.
- b) [Tables 7](#), 8 et 9 donnent les concentrations moyennes journalières à quatre sites clés (Port Boise, Récif Ioro, Ilot Nouare et Banc Lonontéa) pour les déversements effectués aux trois emplacements à différentes périodes de l'année.

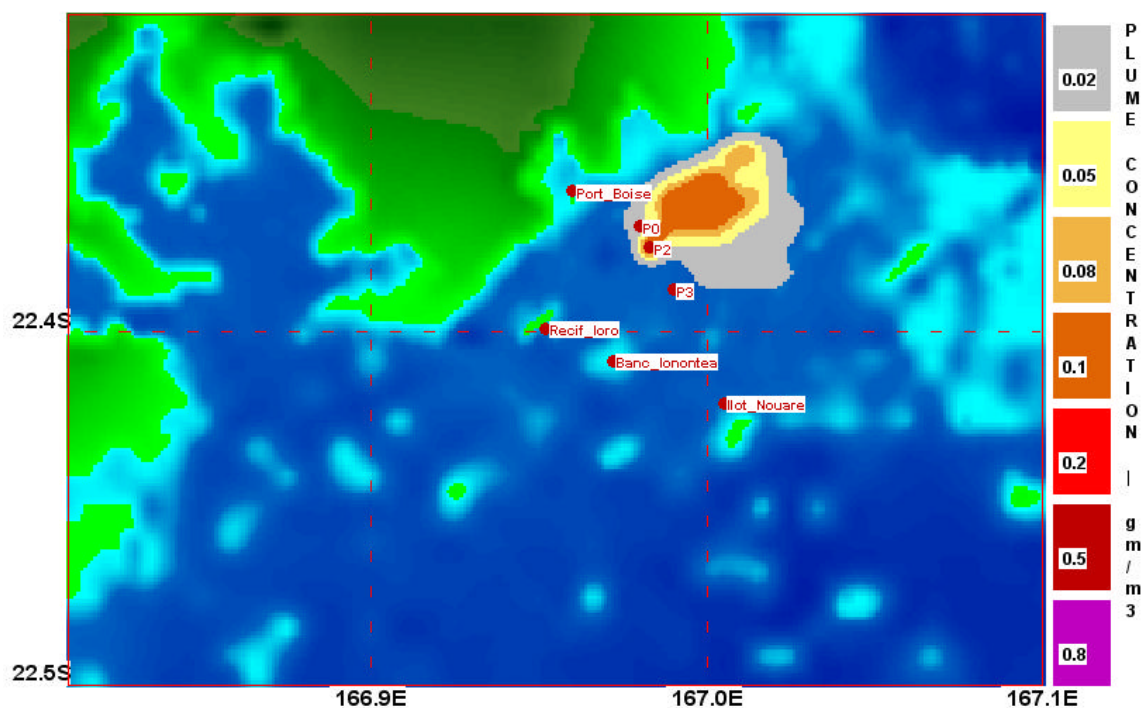


Schéma 12.1: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 6 janvier, 2003 à P2.

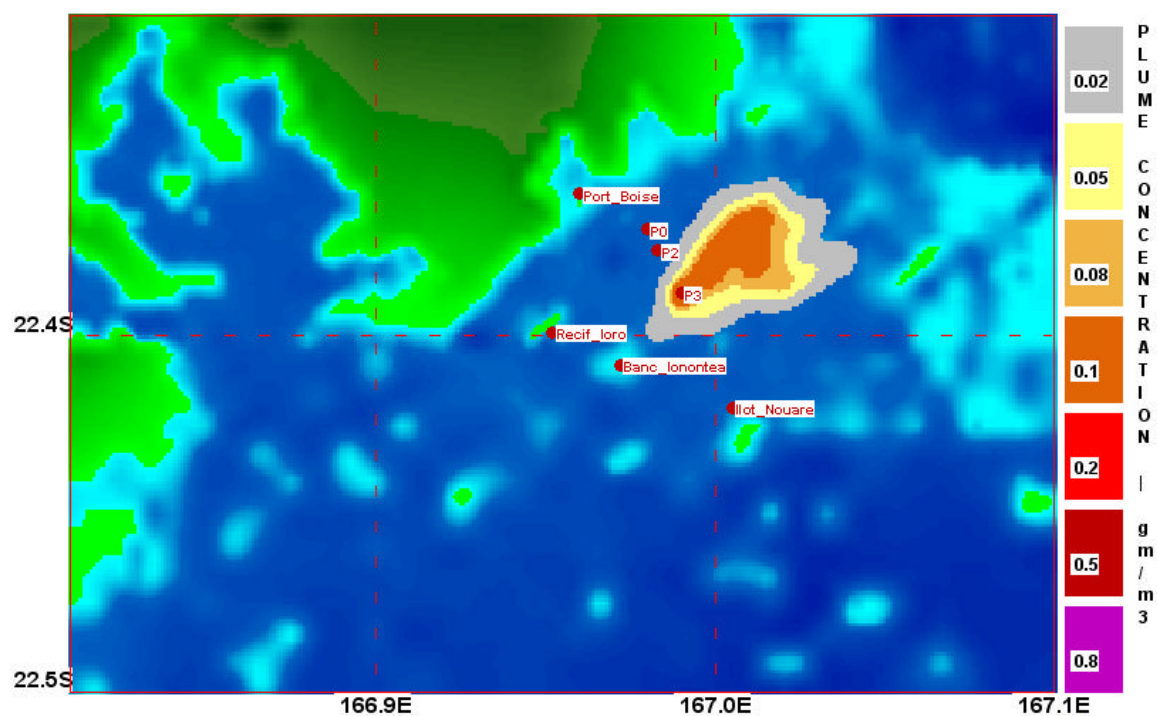


Schéma 12.2: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 6 janvier, 2003 à P3.

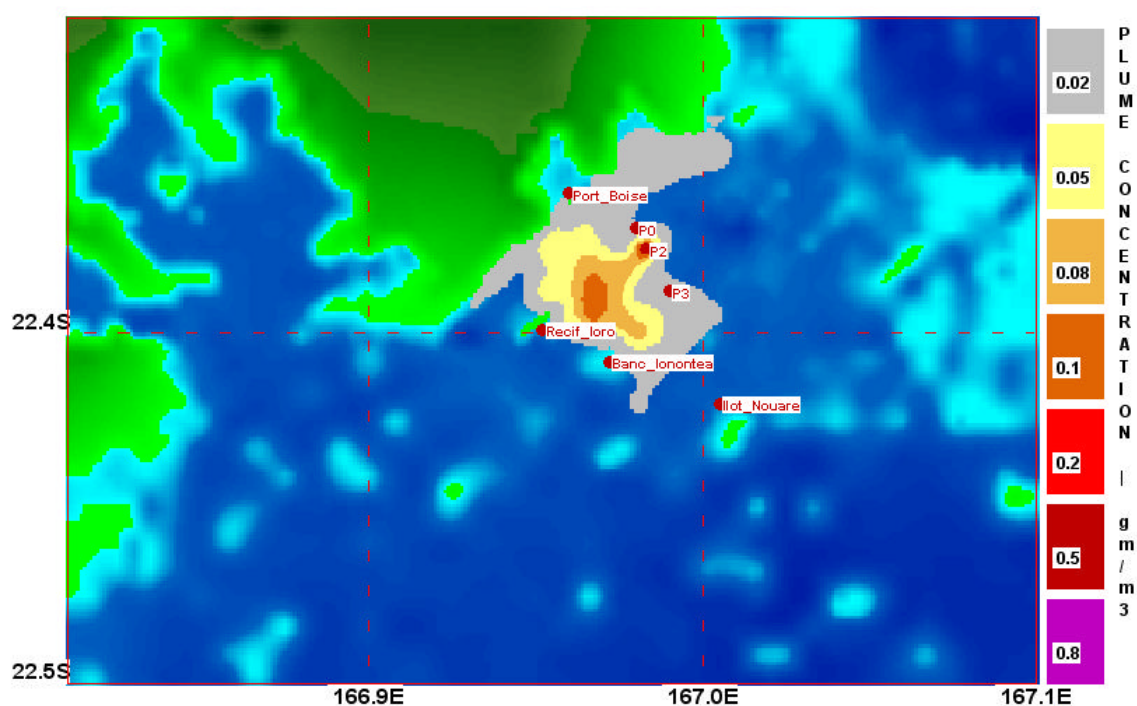


Schéma 12.3: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 janvier, 2003 à P2.

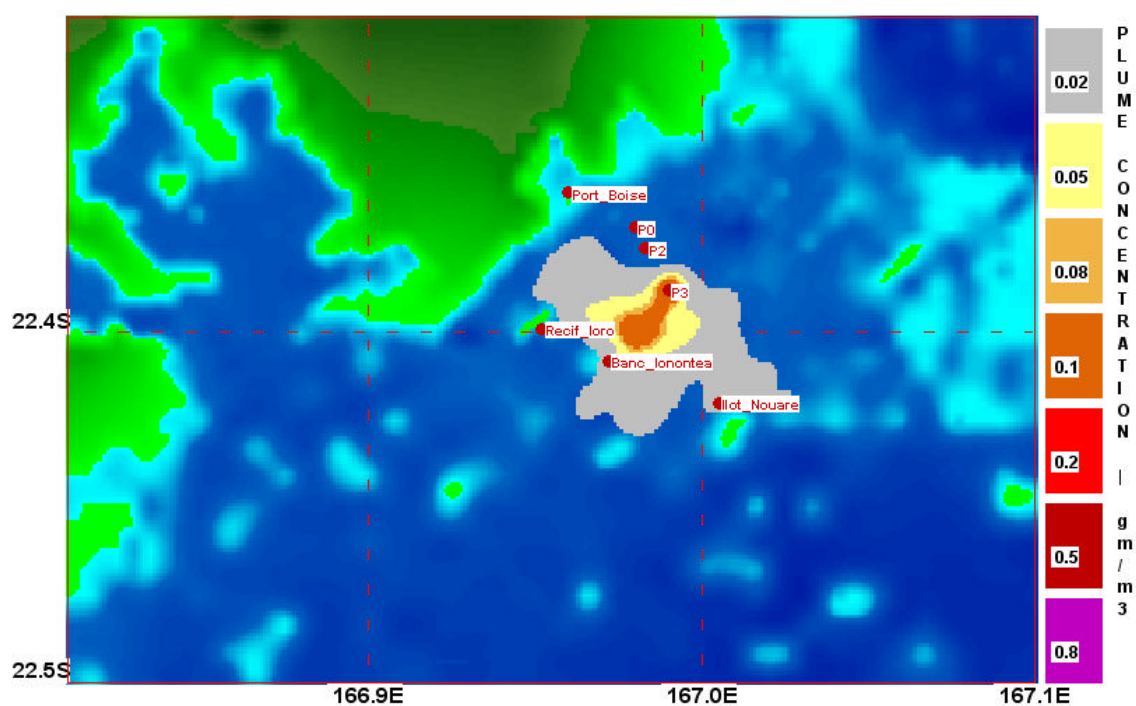


Schéma 12.4: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 janvier, 2003 à P3.

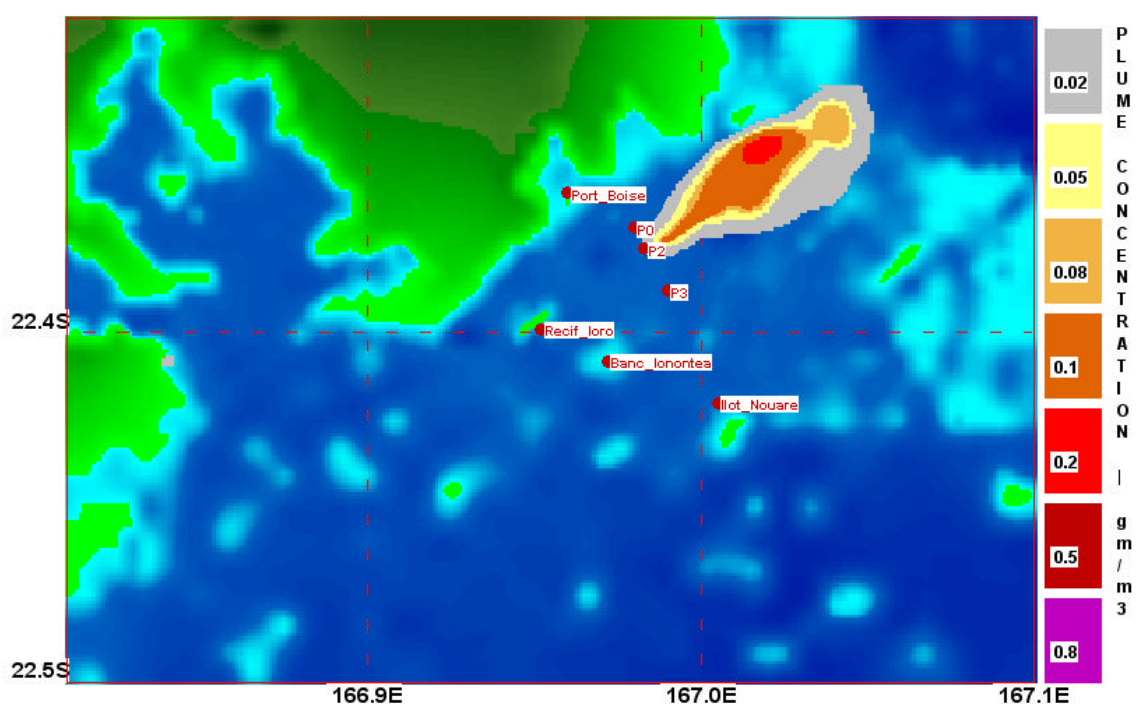


Schéma 12.5: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 20 avril, 2003 à P2

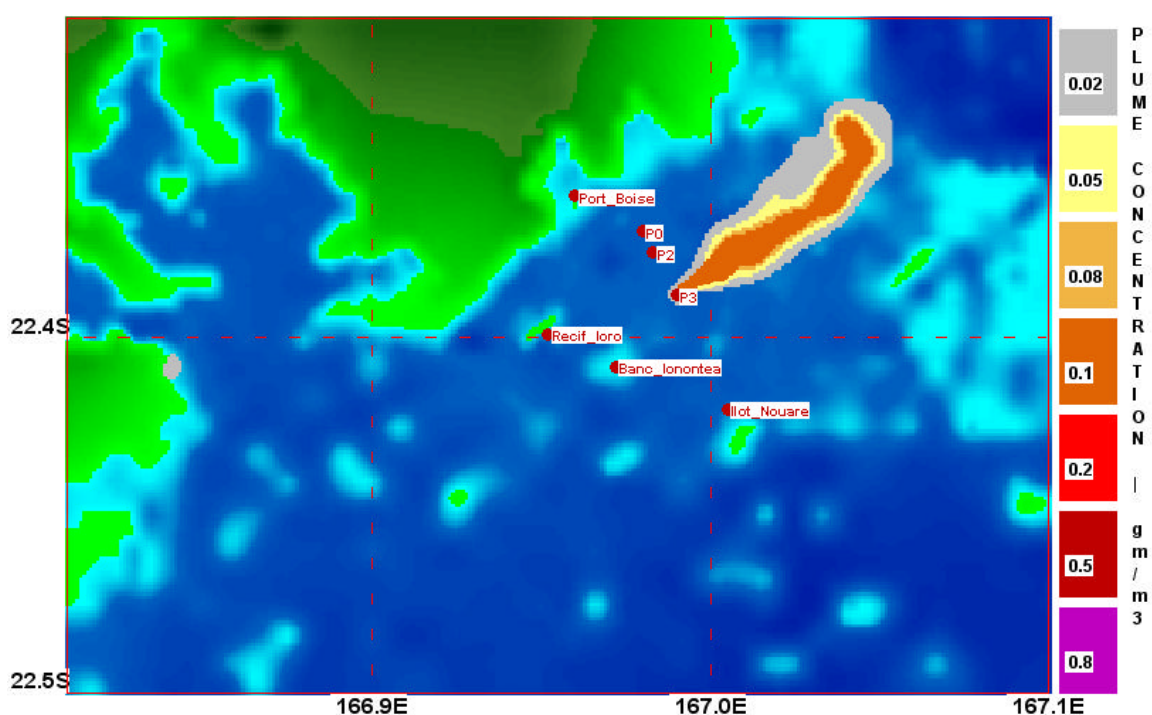


Schéma 12.6: Concentration maximale de manganès dans la colonne d'eau le 20 avril, 2003 à P3. .

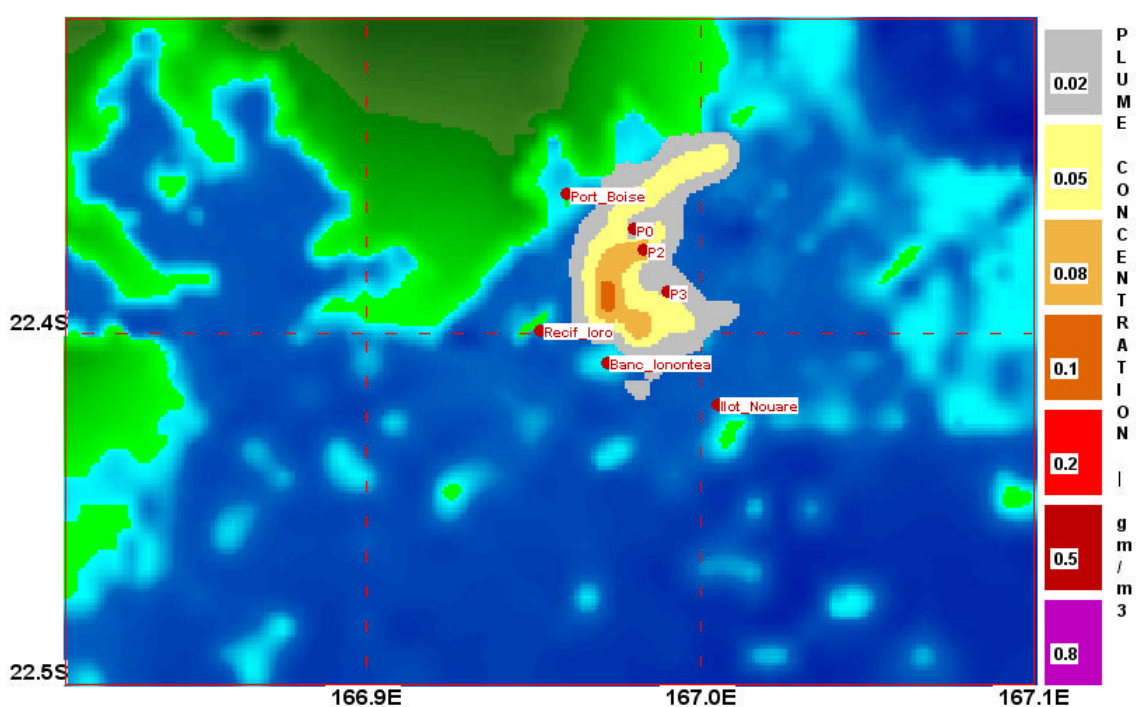


Schéma 12.7: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, 2003 à P2

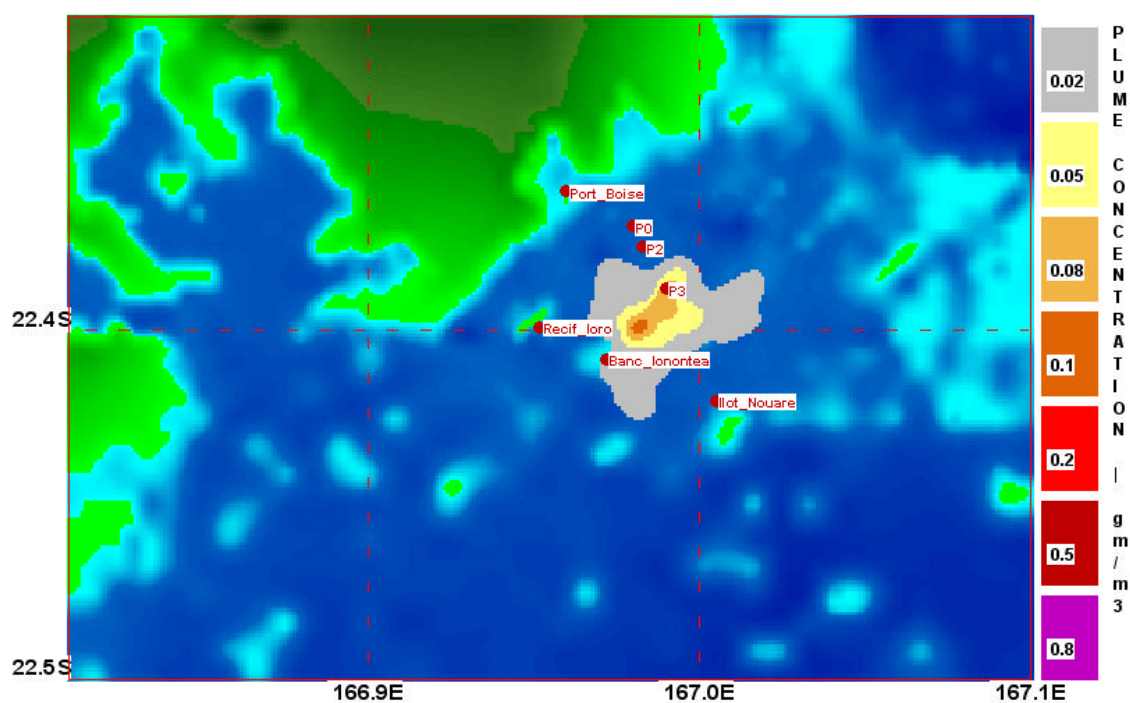


Schéma 12.8: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, 2003 à P3

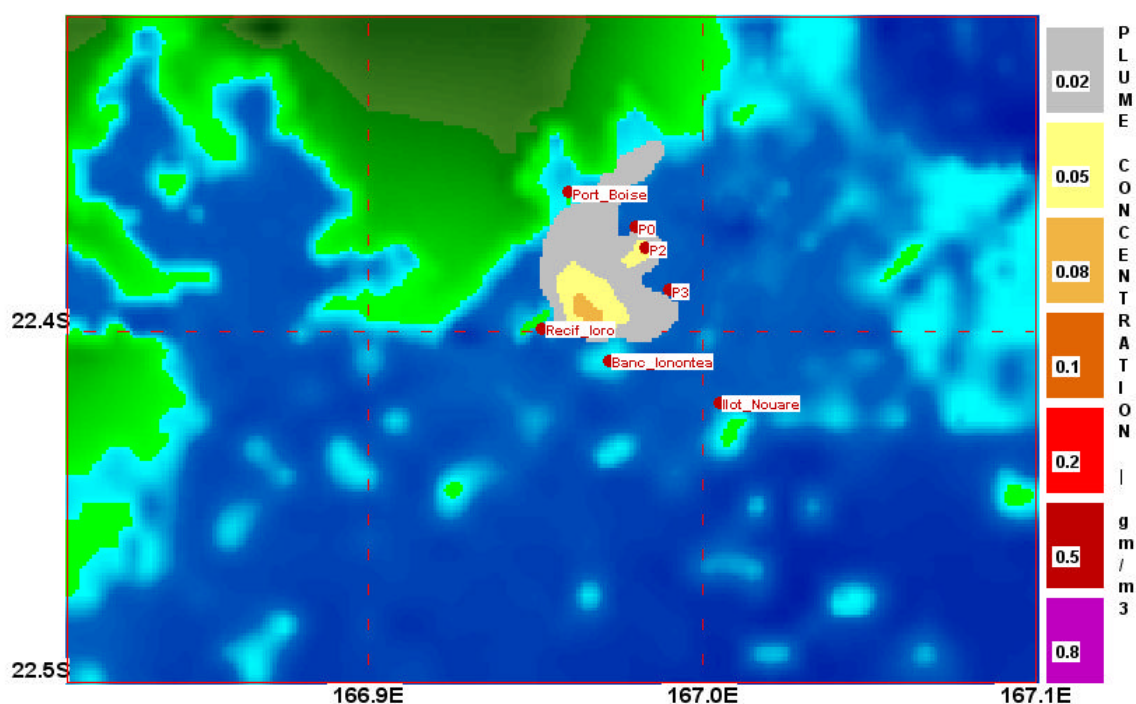


Schéma 12.9: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P2.

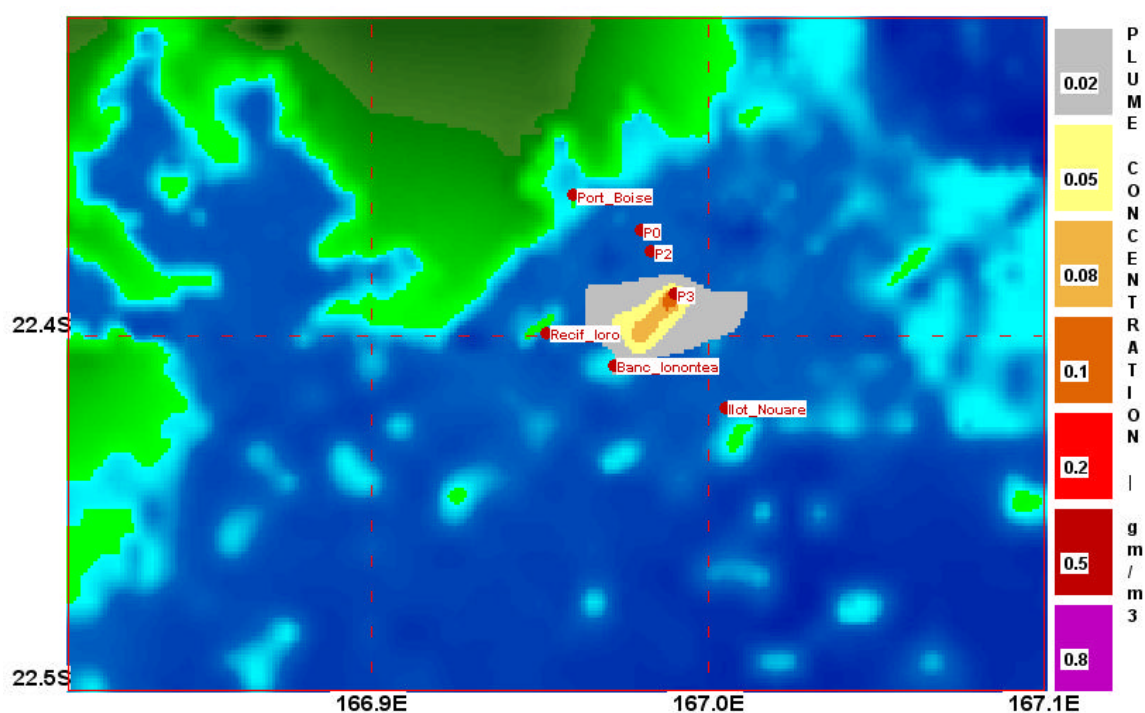


Schéma 12.10: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P3

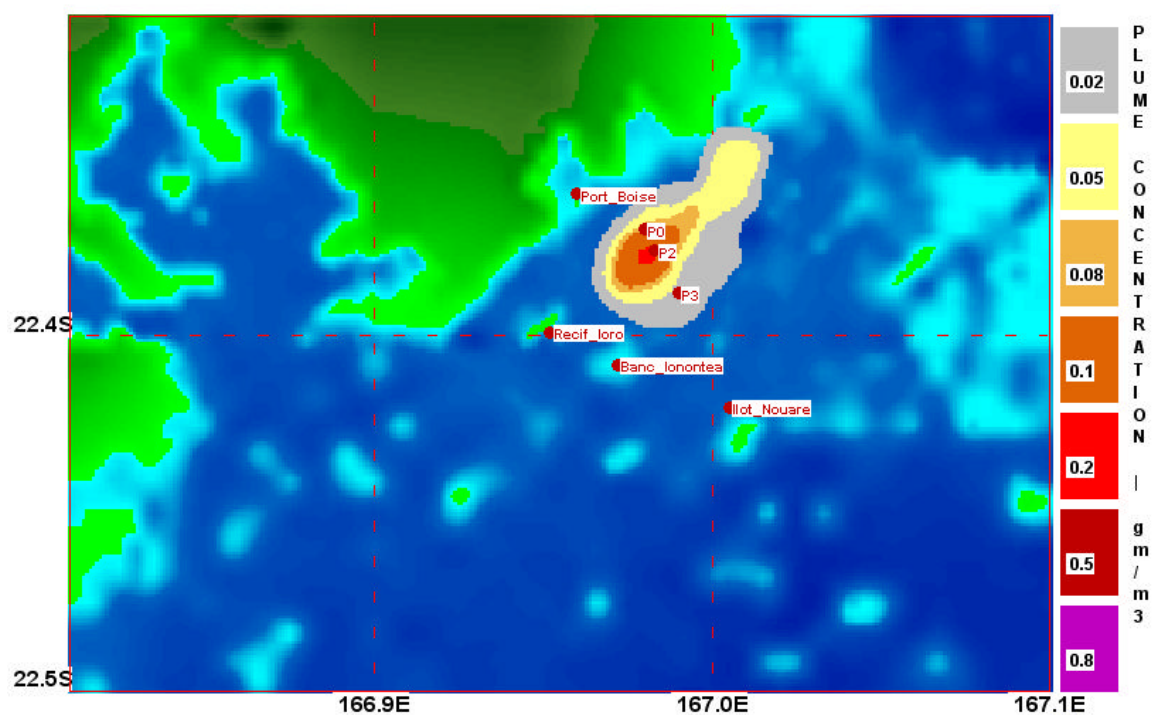


Schéma 12.11: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P2.

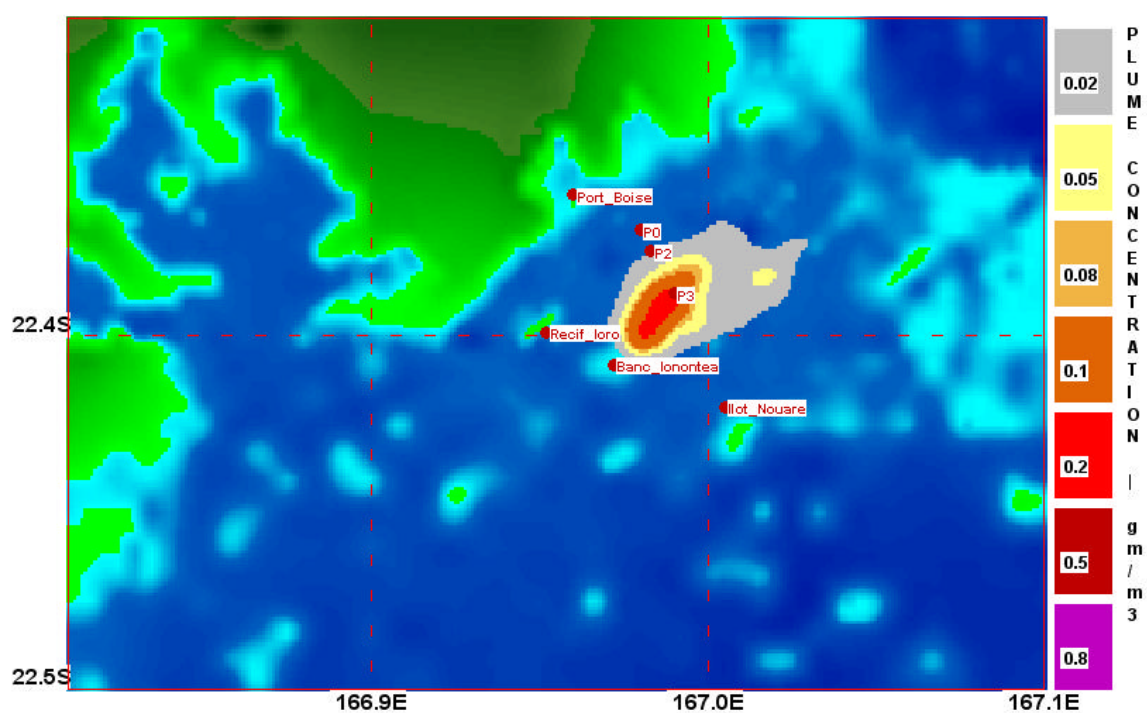


Schéma 12.12: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 9 juillet, à P3

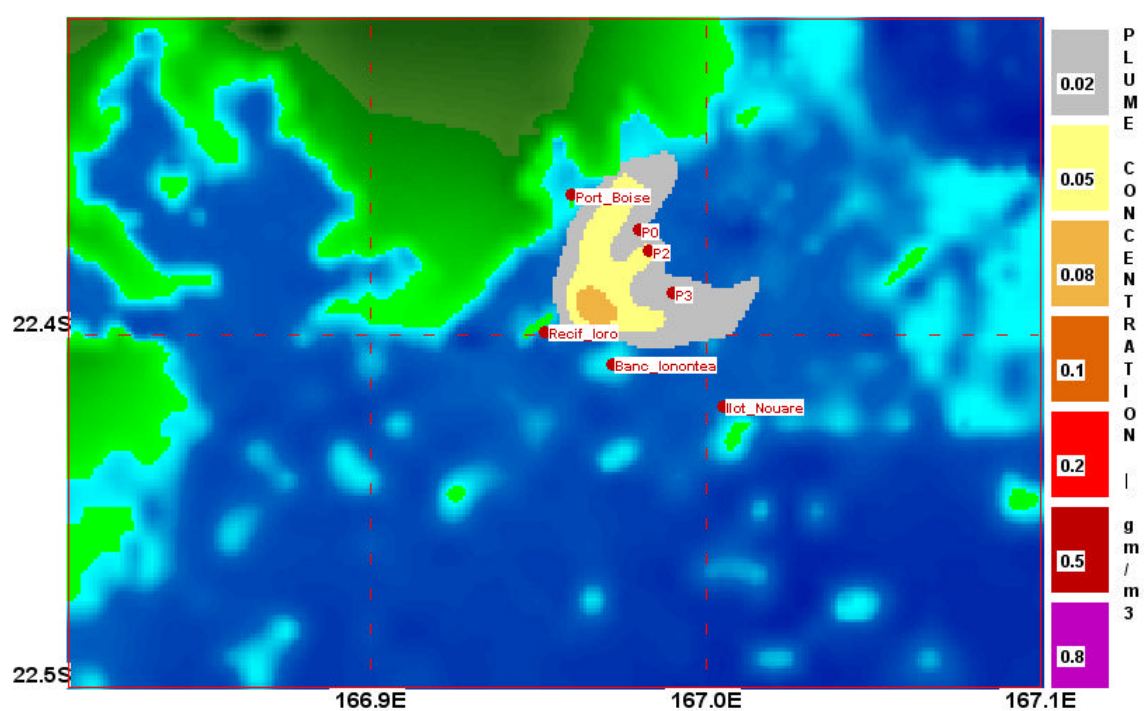


Schéma 12.13: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 8 octobre, à P2.

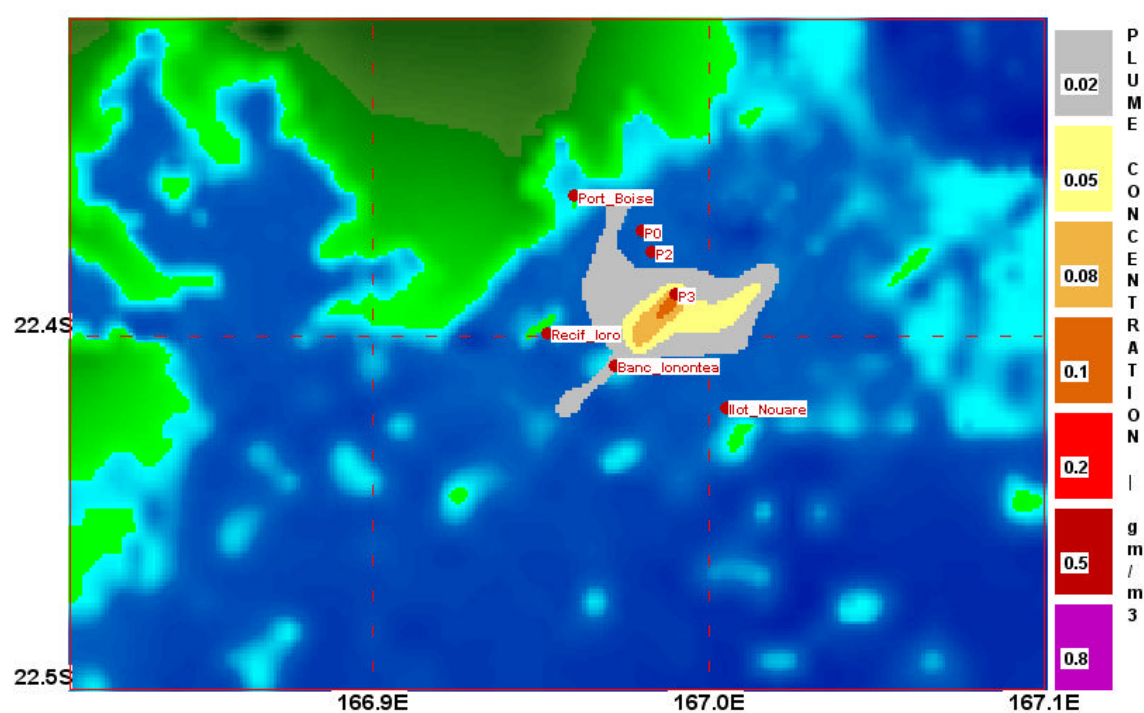


Schéma 12.14: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 8 octobre, à P3.

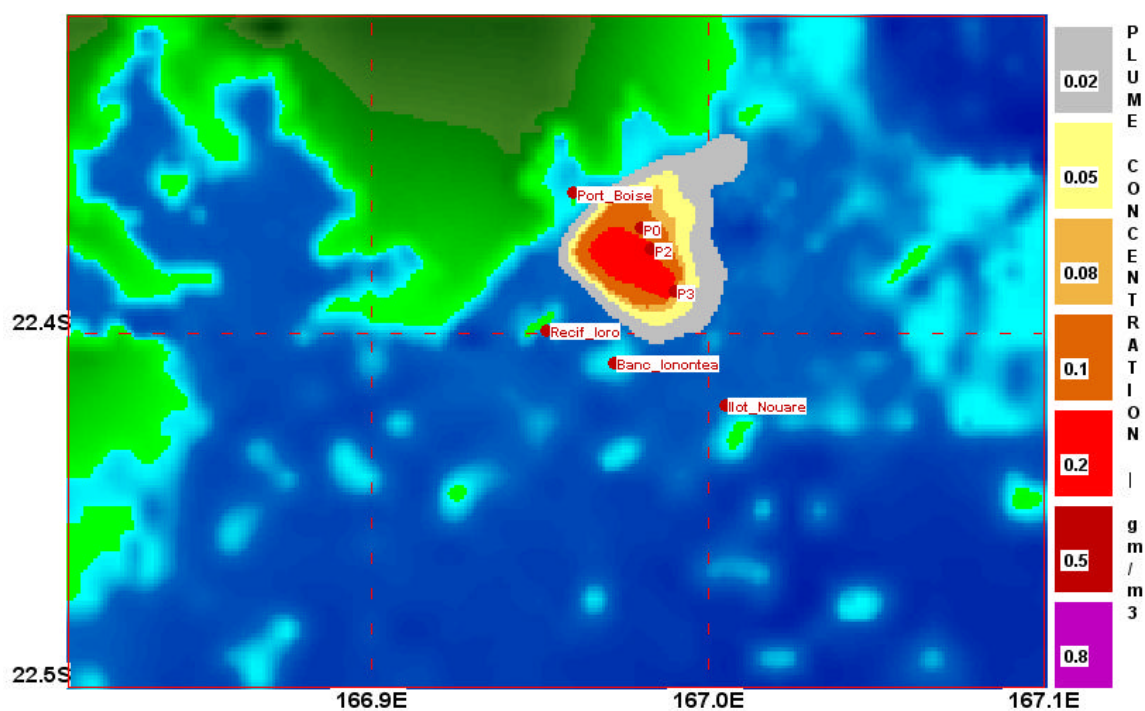


Schéma 12.15: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 31 octobre, à P2.

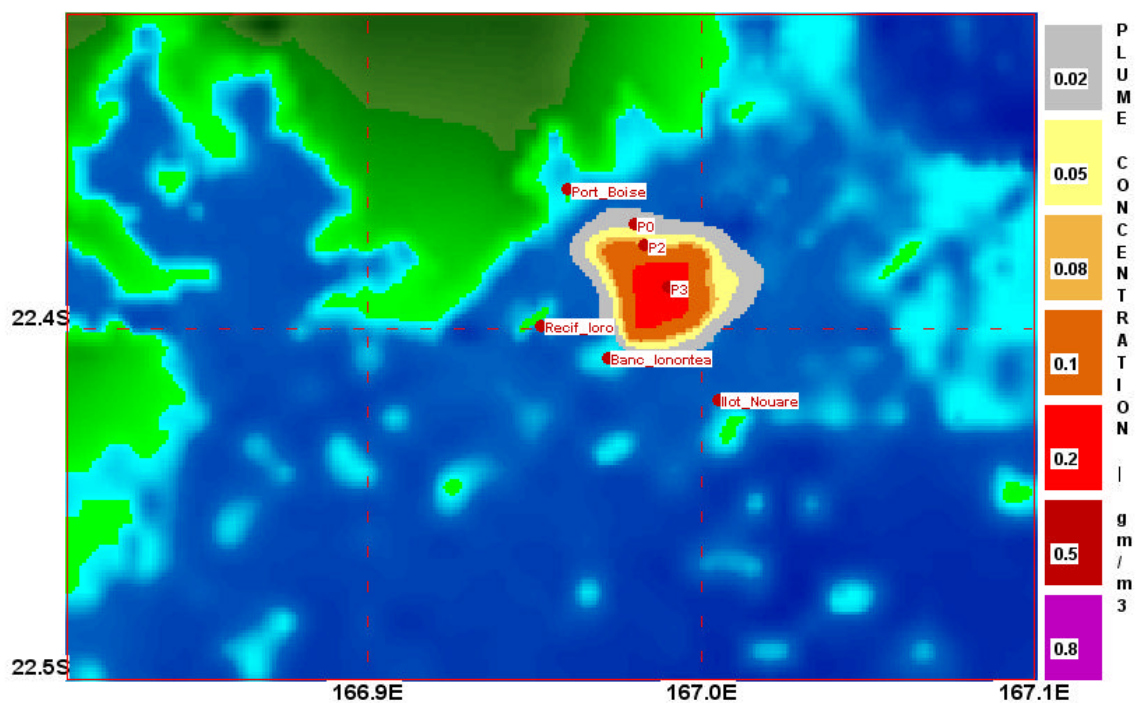


Schéma 12.16: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 31 octobre, à P3.

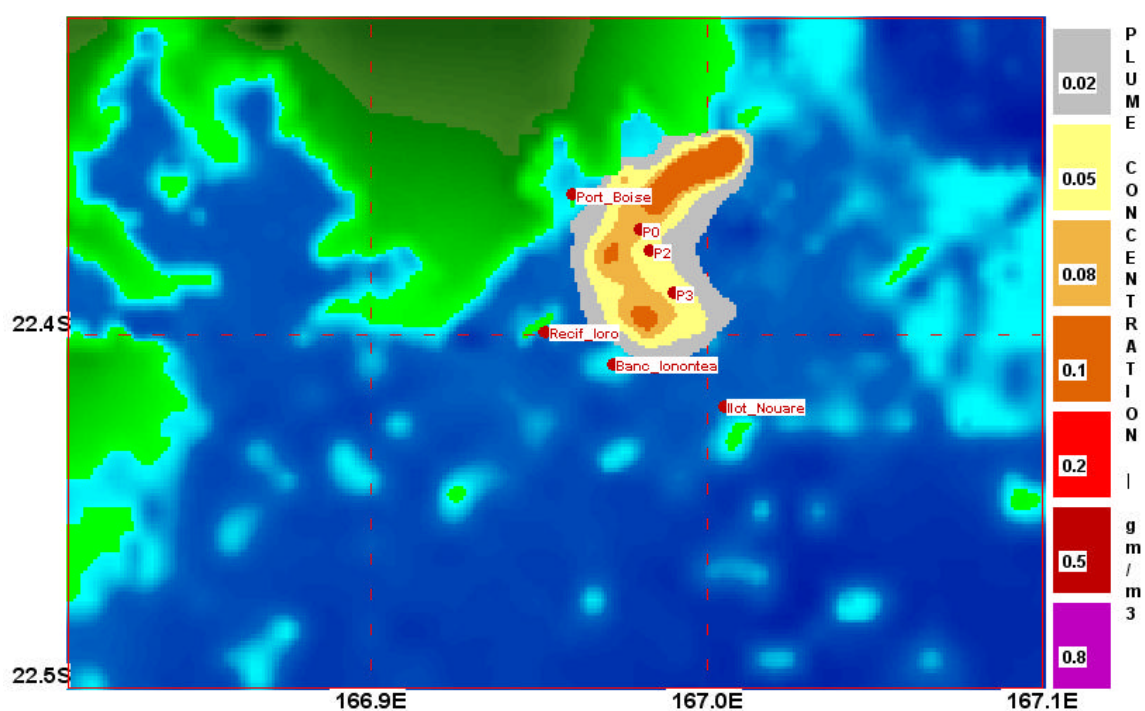


Schéma 12.17: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, à P0.

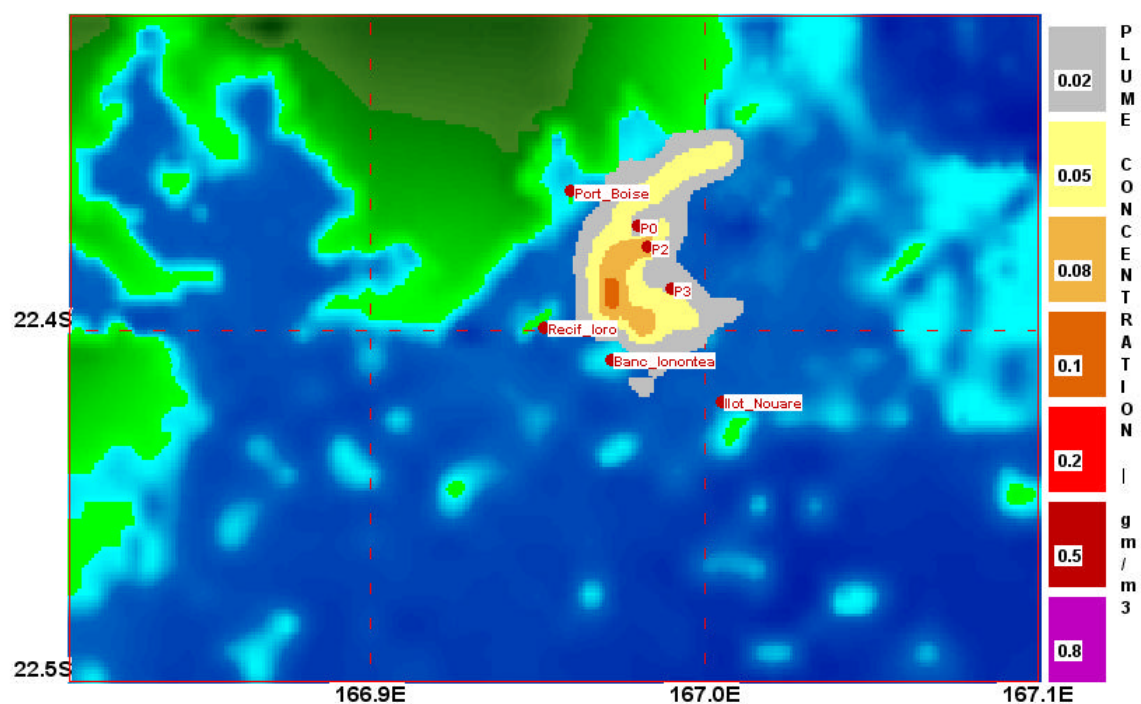


Schéma 12.18: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 25 avril, à P2.

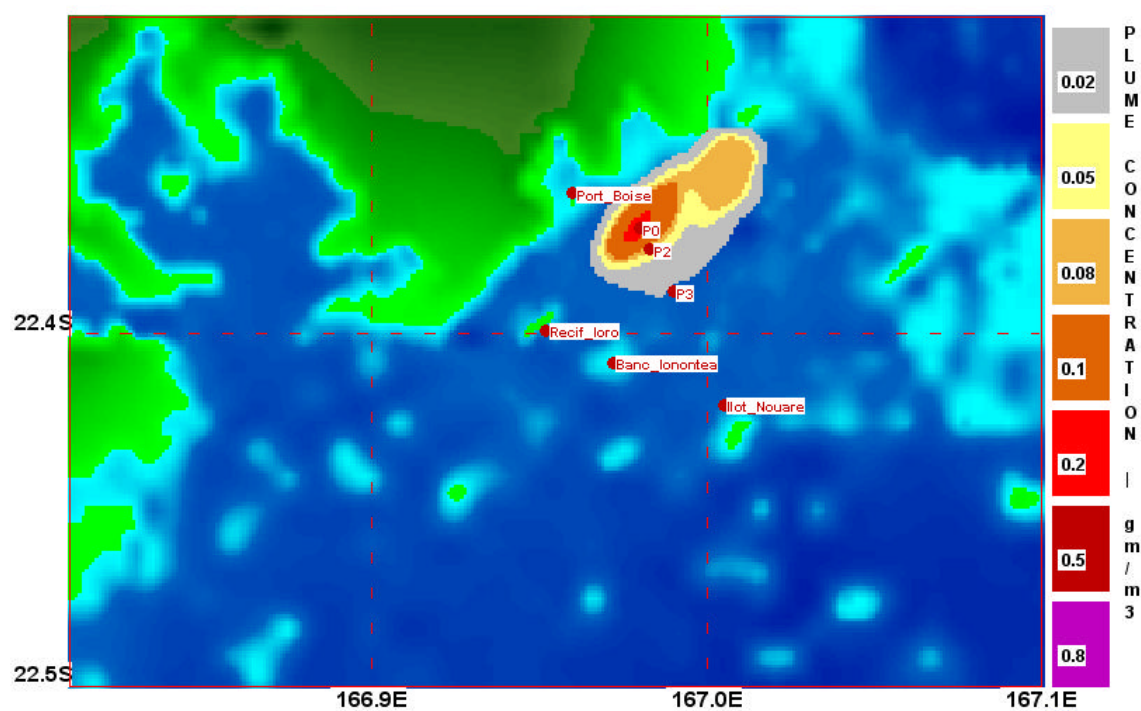


Schéma 12.19: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P0.

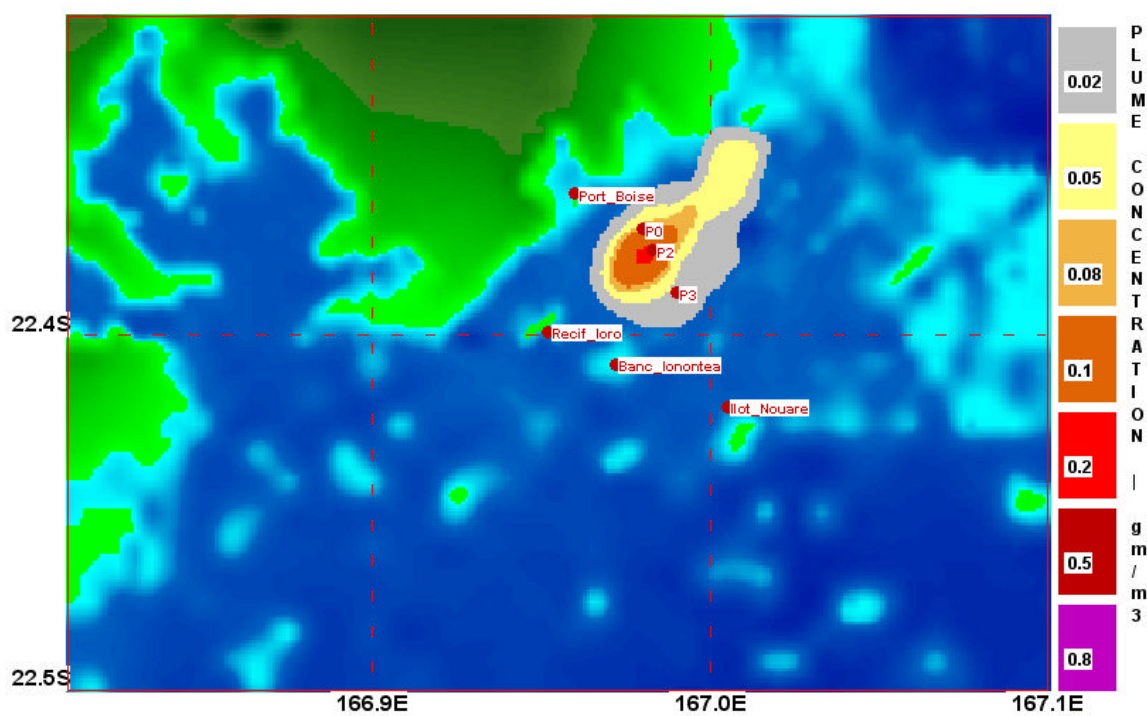


Schéma 12.20: Concentration maximale de manganèse dans la colonne d'eau le 15 juillet, à P2.

Tableau 7: Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P2.

Emplacement	Janvier	Avril	Juillet	Octobre
Ilot Nouare	0.03	0.02	0.01	0.01
Banc Lonontéa	0.06	0.05	0.03	0.05
Récif Ioro	0.05	0.05	0.06	0.03
Port Boise	0.08	0.03	0.03	0.09

Tableau 8: Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P3.

Emplacement	Janvier	Avril	Juillet	Octobre
Ilot Nouare	0.06	0.03	0.01	0.03
Banc Lonontéa	0.12	0.08	0.06	0.08
Récif Ioro	0.03	0.02	0.03	0.02
Port Boise	0.02	0.02	0.02	0.05

Tableau 9: Concentration maximale de manganèse prédite aux emplacements clés pour un panache déversé à P0.

Emplacement	Avril	Juillet
Ilot Nouare	0.02	0.01
Banc Lonontéa	0.06	0.02
Récif Ioro	0.05	0.05
Port Boise	0.05	0.06

13. Conclusions

13.1 Programme de mesures

Les résultats de l'étude bathymétrique, bien qu'encore au stade préliminaire, concordent avec l'étude détaillée précédemment réalisée par RESCAN.

Les profils verticaux de température et autres paramètres physico-chimiques ne présentent que peu de variation dans la colonne d'eau. Il n'y avait que peu, ou pas de stratification.

Le programme de mesure des courants a produit une bonne représentation de la circulation des courants dans le Canal de la Havannah. Des courants forts (plus de 3 nœuds) ont été observés à l'entrée est du canal alors que sur le site proposé pour le diffuseur (P2) les flots maximum du courant de surface étaient de 1,5 nœuds pendant la période d'observation de 31 jours. Sur ce même site et à la même période, le flot maximum pour les courants profonds était de 1,1 nœud.

Le long du transect du pipeline, les courants les plus forts ont été mesurés au site P3 qui se trouve à environ 2 km au sud sud-est de l'emplacement proposé pour le diffuseur. Le courant maximal mesuré à P3 pendant les 4 jours de l'installation était 1,9 nœuds. Une comparaison directe avec les courants à P2 pour la même période a donné des vitesses généralement supérieures de 20 à 25% pour P3.

Les courants mesurés à l'extrémité ouest du canal étaient comparables à ceux de P2 alors que ceux qui traversent les limites sud du canal sont beaucoup plus faibles que les courants mesurés dans le canal même.

Le programme de mesures a confirmé que les courants dans le Canal de la Havannah sont en fait forts, atteignant des vitesses supérieures à 3 nœuds à l'entrée sud, mais l'explication principale est la force de la marée et non l'incursion du courant subtropical sud.

Le fait que la fourchette de hauteurs des marées dans le Canal de la Havannah soit relativement basse (1,5 m maximum) peut expliquer pourquoi les mécanismes des marées ont été précédemment mal compris. La fourchette est étroite vu l'absence d'un

plateau continu autour de la Nouvelle-Calédonie. Cependant, les courants des marées sont parfois très forts quand le 'gonflement' dû à la marée est traîné d'est en ouest et la masse d'eau provenant des profondeurs de l'océan est traînée dans le Canal de la Havannah à la marée montante et relâchée à la marée descendante.

Il n'est pas impossible que le flot provenant du courant subtropical sud entre dans le Canal de la Havannah, mais aucune observation n'a permis de le prouver durant la période d'étude. Ce résultat a été confirmé par les études de vérification du modèle dans lesquelles le flot mesuré sur le site prévu pour le diffuseur était presque entièrement expliqué par le vent et la force de la marée.

Pour déterminer de façon complète la contribution des grands courants subtropicaux sud aux mouvements dans le Canal de la Havannah, il faudrait installer un compteur de courant pendant une période de 12 mois.

13.2 Modélisation de la dispersion du panache

13.2.1 Conclusions générales

Les résultats pour la modélisation du panache mènent aux conclusions générales suivantes :

- La concentration moyenne maximale journalière de manganèse pour la période de 12 mois était 0.28mg/l.
- Pendant presque toute l'année, la concentration moyenne maximale journalière de manganèse était inférieure à 0.10mg/l.
- Pendant les mois d'été, en l'absence d'alizés, les mouvements du panache vers le nord-est et le sud-ouest étaient significatifs.
- Pendant les mois d'hiver, les alizés provoquent davantage de mouvements vers le sud-ouest.
- Lorsqu'il se déplace vers le nord-est, à sa sortie du Canal de la Havannah, le panache s'étend sur une zone plus étroite qu'au sud-ouest où il se répand plus largement, augmentant ainsi la dilution.

13.2.2 Comparaison des sites de déversement

Les conclusions principales concernant les sites étudiés (P2, P3, P0) sont les suivantes:

- Le déversement à P3 tendait à maintenir le panache plus proche du centre du Canal de la Havannah que le déversement à P2. Ce résultat produit de meilleures caractéristiques de dispersion et des concentrations moindres le long de la côte.
- Le déversement à P3 produisait des concentrations plus élevées près du Banc Onontea, mais des concentrations moindres à proximité de Port Boise que le déversement à P2 (ou P0).
- Le déversement à P2 produisait des concentrations plus élevées au Récif Ioro que le déversement à P3.
- Le déversement à P0 produisait des concentrations plus élevées près de la côte et des caractéristiques de dispersion moins bonnes qu'à P2.

Sur la base de ces résultats, il apparaît évident que:

- Le site P2 proposé pour le déversement est préférable au site situé 500 m plus près de la côte.
- Le déplacement du diffuseur plus loin dans le Canal de la Havannah, de P2 à P3 présente de meilleures caractéristiques de dispersion et un impact moindre sur la côte et le Récif Ioro. En revanche les concentrations autour du Banc Lonontea augmenteront légèrement.

14. Références

- GEMS (2003). Current Monitoring & Temperature-Density Profiling Survey in the vicinity of the proposed Goro Nickel Outfall at the Canal de La Havannah, New Caledonia. GEMS Report 02/03
- Hubbert, G.D. (1991). Numerical modelling for coastal engineering and environmental studies, Part 2: Mesoscale meteorology, ocean currents and temperature. *Proc. Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference*, Auckland, N.Z.
- Hubbert, G.D. (1993a). Oil spill trajectory modelling with a fully three-dimensional ocean model, *Proc. 11th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference*, Townsville, Australia.
- Hubbert, G.D. (1993b). Modelling continental shelf flows along the New South Wales coast with a fully three dimensional ocean model. *Proc. 11th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference*, Townsville, Australia.
- Hubbert, G.D. and K.L. McInnes, (1999): A storm surge inundation model for coastal planning and impact studies. *J. Coastal Research*. 15, 168-185.
- Hubbert, G.D. and K.L. McInnes, (1999): *Modelling storm surges and coastal ocean flooding*. In: 'Modelling coastal sea processes', Ed. B.J. Noye, World Scientific Publishing Co., 159-187.
- Roberts, P. (2003). Near Field Modeling of the Goro Nickel Outfall. Private Communication.

Annexe A: Profil de la société GEMS

Dr. Graeme D. Hubbert a passé la plus grande partie de sa carrière dans la recherche océanographique et est reconnu internationalement pour son travail sur la modélisation atmosphérique et océanique. En 1984 il a été le premier scientifique australien à développer et utiliser un modèle d'océan 3D pour des études côtières (déversement des eaux usées de Geelong à Black Rock)

En 1985 il fut le premier océanographe employé par le Bureau Australien de Météorologie et il y développa des modèles de prédictions maritimes pour l'Australie.

En 1993 le Dr Hubbert quitte la recherche dans la fonction publique et fonde Global Environmental Modelling Systems (GEMS) avec pour objectif l'application de la modélisation numérique de pointe aux multiples problèmes mondiaux liés à l'atmosphère et aux océans, auxquels gouvernements et industries ont à faire face. La ligne stratégique de GEMS a été de rassembler un petit groupe de scientifiques dans une variété de domaines (météorologie, océanographie physique, biologie marine, informatique) et d'établir des relations avec les

principales sociétés de consultants et les chercheurs dans les universités et au sein du gouvernement.

Des exemples de travaux réalisés par GEMS comprennent:

Etudes Hydrodynamiques

- Prévion, 'now casting' et rétro prévision des courants ambiants et extrêmes et des niveaux de la mer (par exemple, pour les conseils en opérations maritimes ou le calcul des temps de retour)
- Détermination des effets sur la circulation hydrodynamique liés aux modifications projetées sur les fleuves ou les côtes
- Détermination des effets des vents saisonniers sur la circulation des courants
- Spécification des courants ambiants et extrêmes pour la conception d'installations de surface et sous-marines.;
- Prestation de données pour modéliser la destinée de nappes accidentelles, fuites, déversements et autres activités anthropogéniques

Modélisation du déversement et des nappes accidentelles

- Modélisation d'urgence de la trajectoire d'une nappe accidentelle et de sa destinée.;

- Evaluation du risque quantitatif pour les nappes accidentelles, en plan d'urgence ou pour l'évaluation du risque environnemental.
- Modélisation de la destinée des boues de forage, eaux résultantes, eaux de l'hydrotest et autres déversements provenant d'installations de pétrole ou de gaz.
- Modélisation du transport et de la dispersion des panaches d'égouts ou d'eaux usées
- Modélisation à rebours pour déterminer l'emplacement d'origine des nappes de pétrole ou de débris.
- Modélisation de la destinée des particules contaminées par hydrocarbures, pesticides, métaux ou radionucléides (ex NORMs)
- Définition des trajectoires les plus vraisemblables, et potentielles, pour les larves, entre des emplacements donnés (par exemple, définition d'emplacements en amont et en aval selon les saisons)
- Définition des temps de résidence, dispersion et dégradation du sable ou dépôt (par exemple pour l'étude des effets de dragage , développements portuaires ou modifications des cours d'eaux ou de la côte)

Etudes de la qualité de l'eau

- Modélisation de la destinée et des effets des égouts, eaux traitées ou autres déversements contaminés d'origine précise ou diffuse, sur la qualité des eaux.
- Etudes des effets sur la qualité des eaux, de développements existants ou en projet
- Détermination de l'origine des polluants des eaux (par exemple engrais, demande d'oxygène biologique, turbidité, bactéries entériques)
- Etude des remèdes les plus efficaces pour les problèmes actuels de qualité de l'eau.

Analyse quantitative des risques de nappes accidentelles

Evaluation des risques de nappes accidentelles pour toutes les grandes compagnies australiennes et développement d'un système national pour le Bureau Australien de Sécurité Maritime

Etudes des vagues

- Modélisation de la hauteur et de la période des vagues dans une large gamme de projets comprenant les forces agissant sur les structures en mer et les pipelines, l'érosion côtière et l'action des vagues.

Modélisation de la montée des eaux due aux tempêtes, marées ou inondations côtières

- Montée des eaux causée par tempêtes et inondations résultant de cyclones tropicaux, systèmes de basses pressions extrêmes, fronts froids et autres phénomènes météorologiques (GEMS a été responsable de la plupart des études en Australie pendant les années 90)
- Etude de la montée du niveau de la mer résultant du réchauffement, avec risques associés de tempêtes, vagues et inondations.
- Etudes des effets des modifications du littoral sur les inondations littorales.

Modélisation des marées et inondations dans les systèmes de fleuves côtiers

- Etude des inondations potentielles dans des conditions combinées de marées et de cours des rivières
- Etude des implications de l'aménagement du littoral, des rivières et des plaines d'inondations sur les possibilités d'inondation
- Calcul des intervalles de récurrence des niveaux d'inondation causés par les tempêtes.

Circulation atmosphérique

- Analyse des fréquences et trajectoires des cyclones tropicaux
- Modélisation des champs de vents et de pression des cyclones.
- Analyse du champ des vents ambiants
- Analyse verticale du profil des vents pour la conception structurale
- Prédiction sur site des vents marins, vagues et effets des vents sur la création des courants (ce système a été utilisé par exemple dans les deux dernières coupes de l'America et plusieurs courses à la voile Sydney-Hobart. La marine américaine applique ce système pour la prévision des vents en temps réel.)
- Utilisation de prévisions, 'now casting' et rétroprévisions de conditions historiques et extrêmes comme base pour d'autres études atmosphériques et de circulation océanique.
- Simulation des champs des vents comme base pour les études sur la pollution atmosphérique

Etudes sur la pollution atmosphérique

- Simulations des champs de dispersion des émissions dans l'atmosphère selon les conditions saisonnières

- Etudes des efforts de mitigation pour définir les options les moins coûteuses;
- Analyse intégrée et modélisation des particulaires composés organiques, anions et métaux dans les fumées industrielles.

Annexe B: Résultats de l'Hydrolab

Tableau B.1: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E3 le 29 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.34	8.27	53.90	35.70	93.70	8.11
2.0	23.33	8.27	53.90	35.70	94.00	8.11
3.0	23.34	8.27	53.90	35.70	93.70	8.10
4.0	23.34	8.27	53.90	35.70	93.80	8.11
5.0	23.28	8.27	53.90	35.70	93.80	8.11
6.0	23.24	8.27	53.90	35.70	93.60	8.09
7.0	23.22	8.27	53.90	35.70	93.70	8.10
8.1	23.20	8.27	54.00	35.70	93.60	8.12
9.0	23.20	8.27	53.90	35.70	93.80	8.12
10.0	23.17	8.27	53.90	35.70	93.70	8.12
11.0	23.17	8.27	53.90	35.70	93.80	8.13
12.0	23.16	8.27	53.90	35.70	93.80	8.14
13.0	23.15	8.27	53.90	35.70	94.00	8.14
13.9	23.15	8.27	53.90	35.70	93.90	8.14
15.0	23.16	8.27	53.90	35.70	94.10	8.16
16.0	23.16	8.27	53.90	35.70	94.20	8.16
17.0	23.14	8.27	54.00	35.70	94.30	8.17
18.0	23.13	8.27	53.90	35.70	94.50	8.20
19.1	23.12	8.27	53.90	35.70	94.80	8.23
20.7	23.14	8.26	53.90	35.70	95.50	8.29
22.5	23.13	8.26	53.90	35.70	96.10	8.26
34.6	23.09	8.26	53.80	35.60	-	-

Tableau B.2: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E3 le 2 décembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.65	8.29	53.80	35.60	93.10	7.99
2.0	23.52	8.29	53.80	35.60	93.10	8.02
3.0	23.53	8.29	53.80	35.60	92.50	7.97
4.0	23.49	8.29	53.80	35.70	92.70	8.01
5.0	23.45	8.29	53.80	35.70	92.90	8.02
6.0	23.42	8.29	53.80	35.70	92.80	8.01
7.0	23.41	8.29	53.80	35.70	92.80	8.02
8.0	23.41	8.29	53.80	35.60	93.00	8.04
8.9	23.37	8.29	53.80	35.60	93.30	8.05
10.0	23.37	8.29	53.80	35.70	93.60	8.05
11.1	23.35	8.29	53.90	35.70	93.80	8.08
12.0	23.36	8.29	53.80	35.70	93.40	8.08
13.1	23.34	8.29	53.80	35.70	93.60	8.09
14.0	23.32	8.29	53.90	35.60	93.80	8.14
15.0	23.35	8.29	53.80	35.70	94.30	8.15
16.1	23.32	8.29	53.80	35.60	97.90	8.19
17.0	23.32	8.29	53.90	35.70	94.70	8.22
17.9	23.33	8.29	53.80	35.60	95.20	8.23
19.2	23.35	8.29	53.80	35.60	95.60	8.28
19.8	23.34	8.29	53.80	35.70	96.40	8.41
33.0	23.26	8.28	53.50	35.70	-	-

Tableau B.3: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E4 le 29 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.30	8.28	53.90	35.70	93.20	8.07
2.0	23.31	8.28	53.90	35.70	93.20	8.06
3.0	23.31	8.28	53.90	35.70	93.10	8.05
4.0	23.30	8.28	53.90	35.70	93.30	8.06
5.0	23.30	8.28	54.00	35.70	93.20	8.05
6.0	23.33	8.28	53.90	35.70	93.10	8.05
7.0	23.32	8.28	53.90	35.70	93.10	8.04
8.0	23.29	8.28	53.90	35.70	93.00	8.03
9.0	23.25	8.28	53.90	35.70	92.90	8.03
10.0	23.23	8.28	53.90	35.70	92.70	8.03
11.0	23.23	8.28	53.90	35.70	92.60	8.03
12.0	23.23	8.28	53.90	35.70	92.90	8.02
13.0	23.21	8.28	53.90	35.70	92.90	8.04
14.0	23.19	8.28	53.90	35.70	92.90	8.03
15.0	23.21	8.28	53.90	35.70	92.80	8.02
16.0	23.20	8.28	53.90	35.70	92.90	8.03
17.0	23.19	8.28	53.90	35.70	92.80	8.04
18.0	23.17	8.28	53.90	35.70	92.80	8.04
19.0	23.17	8.27	53.90	35.70	92.30	8.04
20.0	23.14	8.27	53.90	35.70	92.80	8.05
21.0	23.19	8.27	53.90	35.70	93.70	8.10
22.0	23.17	8.27	53.90	35.70	94.00	8.16
23.1	23.19	8.27	53.90	35.70	95.30	8.49
26.0	23.15	8.27	53.70	35.60	-	-

Tableau B.4: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage E4 le 2 décembre, 2002.

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.1	23.42	8.29	53.90	35.70	90.30	7.77
1.9	23.39	8.29	53.90	35.70	90.00	7.77
2.8	23.37	8.29	53.90	35.70	89.50	7.76
3.8	23.37	8.29	53.90	35.70	89.90	7.75
5.0	23.34	8.29	53.90	35.70	89.70	7.76
6.0	23.32	8.29	53.90	35.70	89.80	7.74
6.9	23.30	8.29	53.90	35.70	89.80	7.76
8.1	23.29	8.29	53.90	35.70	89.90	7.75
9.0	23.30	8.29	53.90	35.70	89.60	7.77
10.0	23.31	8.29	53.90	35.70	89.90	7.77
10.8	23.28	8.29	53.90	35.70	89.70	7.76
11.9	23.26	8.29	54.00	35.70	89.40	7.77
12.9	23.26	8.29	53.90	35.70	90.00	7.78
14.1	23.26	8.29	53.90	35.70	90.00	7.76
15.2	23.26	8.28	53.90	35.70	89.90	7.78
16.0	23.27	8.28	53.90	35.70	90.20	7.78
16.9	23.27	8.28	53.80	35.70	90.00	7.80
17.8	23.26	8.28	54.00	35.70	90.50	7.80
19.0	23.26	8.28	53.90	35.70	90.40	7.87
19.9	23.26	8.28	53.90	35.70	90.30	7.82
20.8	23.26	8.28	53.90	35.70	90.70	7.84
22.0	23.26	8.28	53.90	35.70	90.90	7.86
23.7	23.71	8.27	51.90	33.60	68.00	7.01
23.7	24.01	8.28	53.60	35.50	72.00	7.19

Tableau B.5: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P1 le 22 novembre, 2002.

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.26	8.24	53.90	35.70	95.80	8.28
2.0	23.27	8.25	53.90	35.70	94.80	8.20
3.0	23.41	8.26	53.90	35.70	99.70	8.60
4.0	23.26	8.25	53.90	35.70	94.20	8.14
5.0	23.26	8.25	53.90	35.70	94.00	8.12
5.9	23.26	8.25	53.90	35.70	94.00	8.13
7.0	23.27	8.25	53.80	35.60	93.90	8.11
8.0	23.26	8.25	53.90	35.70	93.70	8.10
9.0	23.34	8.25	53.80	35.60	97.60	8.43
10.0	23.24	8.25	53.80	35.60	93.60	8.10
11.0	23.24	8.25	53.80	35.60	93.70	8.10
12.0	23.23	8.25	53.80	35.60	93.50	8.09
13.0	23.23	8.25	53.80	35.60	93.40	8.08
14.0	23.24	8.25	53.70	35.60	93.50	8.09
15.1	23.25	8.25	53.70	35.60	93.50	8.09
16.0	23.25	8.25	53.70	35.50	93.30	8.07
17.0	23.30	8.25	53.70	35.50	96.10	8.30
18.0	23.24	8.25	53.70	35.60	93.20	8.06
19.0	23.23	8.25	53.70	35.60	93.30	8.07

Tableau B.6: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P2 le 21 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.1	23.26	8.24	53.60	35.50	103.30	8.93
2.1	23.26	8.24	53.60	35.50	102.00	8.82
3.0	23.27	8.24	53.60	35.50	101.30	8.76
3.9	23.26	8.24	53.70	35.50	100.30	8.67
4.9	23.26	8.24	53.70	35.50	99.90	8.64
6.0	23.26	8.24	53.70	35.50	99.70	8.62
7.0	23.20	8.25	53.70	35.50	99.10	8.58
8.0	23.18	8.25	53.70	35.50	98.20	8.50
9.0	23.19	8.25	53.80	35.60	97.50	8.44
10.0	23.18	8.25	53.70	35.60	97.60	8.45
11.0	23.18	8.25	53.70	35.50	97.20	8.42
12.0	23.18	8.25	53.70	35.50	96.80	8.38
13.0	23.19	8.25	53.70	35.60	96.20	8.33
14.0	23.20	8.25	53.70	35.60	95.90	8.30
15.0	23.19	8.25	53.70	35.60	95.70	8.29
16.0	23.18	8.25	53.70	35.60	95.50	8.27
17.0	23.19	8.25	53.80	35.60	95.40	8.26
18.0	23.18	8.25	53.70	35.60	95.30	8.25
18.9	23.18	8.25	53.70	35.50	95.00	8.23
20.0	23.19	8.25	53.70	35.50	94.60	8.19
21.1	23.18	8.25	53.70	35.60	94.90	8.22

Tableau B.7: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P2 le 8 décembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.9	23.75	8.30	53.70	35.60	91.50	7.84
2.0	23.74	8.30	53.80	35.60	91.60	7.85
3.0	23.73	8.30	53.80	35.60	91.60	7.85
3.9	23.70	8.30	53.80	35.60	91.50	7.85
5.0	23.69	8.30	53.80	35.60	91.50	7.85
6.0	23.67	8.30	53.80	35.60	91.50	7.85
7.0	23.65	8.30	53.80	35.60	91.60	7.86
8.0	23.64	8.30	53.80	35.60	91.40	7.85
9.0	23.63	8.30	53.80	35.60	91.40	7.85
10.0	23.63	8.30	53.80	35.60	91.50	7.85
11.0	23.63	8.30	53.70	35.60	91.50	7.85
12.0	23.63	8.30	53.70	35.60	91.40	7.85
13.0	23.62	8.30	53.80	35.60	91.40	7.84
13.9	23.62	8.30	53.80	35.60	91.30	7.84
15.0	23.57	8.30	53.80	35.60	91.20	7.84
16.0	23.53	8.30	53.80	35.60	91.30	7.85
16.9	23.53	8.30	53.80	35.60	91.30	7.85
18.0	23.52	8.30	53.80	35.60	91.20	7.84
19.0	23.50	8.30	53.80	35.60	91.10	7.84
20.0	23.47	8.30	53.80	35.60	91.10	7.85
20.9	23.43	8.30	53.80	35.60	91.10	7.85
22.0	23.37	8.30	53.80	35.60	91.00	7.85
23.0	23.36	8.30	53.80	35.60	90.90	7.85
24.0	23.35	8.30	53.80	35.60	91.20	7.87
25.0	23.35	8.30	53.80	35.60	91.00	7.86
25.9	23.35	8.30	53.80	35.60	91.00	7.86
27.1	23.34	8.30	53.80	35.60	91.00	7.85
28.0	23.34	8.30	53.80	35.60	90.90	7.85
29.0	23.33	8.30	53.80	35.60	91.00	7.86

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
30.1	23.34	8.30	53.80	35.60	91.20	7.87
31.0	23.34	8.30	53.80	35.60	91.30	7.88
32.1	23.34	8.30	53.80	35.60	91.40	7.89
33.1	23.33	8.30	53.80	35.60	91.30	7.88
33.7	23.33	8.30	53.80	35.60	91.10	7.87
36.8	23.33	8.30	53.80	35.60	90.90	7.85

Tableau B.8: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P3 le 22 novembre, 2002.

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.9	23.28	8.24	53.40	35.30	101.50	8.77
2.0	23.28	8.24	53.90	35.70	99.60	8.61
3.0	23.27	8.24	53.90	35.70	99.30	8.58
3.9	23.28	8.24	53.90	35.70	98.80	8.54
5.0	23.28	8.24	54.00	35.70	98.20	8.49
6.0	23.28	8.24	53.90	35.70	97.50	8.43
6.9	23.28	8.24	53.90	35.70	97.40	8.42
8.0	23.28	8.24	53.90	35.70	97.20	8.40
9.0	23.28	8.24	53.90	35.70	96.90	8.38
10.0	23.28	8.24	53.80	35.60	96.80	8.37
11.1	23.28	8.24	53.80	35.60	96.60	8.35
12.1	23.28	8.24	53.80	35.60	96.50	8.34
13.0	23.29	8.24	53.80	35.60	96.50	8.34
14.0	23.29	8.24	53.80	35.60	96.40	8.33
15.0	23.28	8.24	53.80	35.60	96.30	8.32
16.0	23.28	8.24	53.70	35.60	96.20	8.32
16.9	23.28	8.24	53.70	35.60	96.00	8.30
18.0	23.25	8.24	53.70	35.60	96.00	8.30
19.0	23.26	8.24	53.70	35.60	96.00	8.30

Tableau B.9: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P3 le 26 novembre, 2002

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.8	23.24	8.26	53.90	35.70	93.20	8.04
2.2	23.24	8.26	53.90	35.70	93.00	8.07
3.3	23.24	8.26	53.90	35.70	93.00	8.07
4.2	23.24	8.26	53.90	35.70	93.00	8.05
4.9	23.23	8.27	53.90	35.70	93.20	8.07
6.0	23.23	8.26	53.90	35.70	93.10	8.06
7.3	23.23	8.26	53.90	35.70	93.20	8.06
8.8	23.23	8.26	53.90	35.70	93.10	8.05
9.8	23.23	8.27	53.90	35.70	93.20	8.07
11.0	23.23	8.26	53.90	35.70	93.20	8.06
11.7	23.23	8.27	53.90	35.90	93.40	8.08
13.0	23.23	8.27	53.90	35.70	93.50	8.09
14.0	23.23	8.27	53.90	35.70	93.40	8.10
16.0	23.23	8.27	53.90	35.70	93.60	8.10
17.5	23.22	8.26	53.90	35.70	94.00	8.13
19.0	23.22	8.26	53.90	35.70	94.00	8.13
35.0	23.16	8.26	53.40	35.40	-	-

Tableau B.10: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P4 le 26 novembre, 2002

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.8	23.26	8.26	54.00	35.70	94.90	8.20
1.8	23.25	8.26	53.90	35.70	94.80	8.20
2.9	23.25	8.26	53.90	35.70	94.70	8.20
3.9	23.25	8.26	54.00	35.70	94.90	8.20
4.9	23.24	8.27	54.00	35.70	95.00	8.22
5.9	23.25	8.26	53.90	35.70	95.00	8.21
6.8	23.23	8.26	53.90	35.70	95.00	8.23
8.0	23.23	8.26	53.90	35.70	95.10	8.24
8.8	23.22	8.26	53.80	35.70	95.20	8.25
9.8	23.22	8.26	53.90	35.70	95.20	8.23
10.9	23.23	8.26	53.90	35.70	95.40	8.25
11.9	23.23	8.26	53.90	35.70	95.30	8.26
13.0	23.23	8.26	53.90	35.70	95.40	8.27
13.9	23.22	8.26	53.90	35.70	95.50	8.27
15.0	23.22	8.26	53.90	35.70	95.60	8.28
15.9	23.23	8.26	53.90	35.70	95.70	8.28
16.9	23.22	8.26	53.90	35.70	95.90	8.30
18.0	23.22	8.26	53.90	35.70	96.10	8.32
18.8	23.24	8.26	53.90	35.70	96.90	8.39
20.1	23.24	8.26	53.90	35.70	97.10	8.40
21.1	23.24	8.26	53.90	35.70	97.40	8.49
28.0	23.23	8.26	53.60	35.50	83.30	7.68

Tableau B.11: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage P4 le 29 novembre, 2002

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.27	8.28	53.90	35.70	93.90	8.12
2.0	23.27	8.28	53.90	35.70	94.00	8.12
3.0	23.27	8.28	53.90	35.70	95.00	8.11
4.0	23.25	8.28	53.90	35.70	94.00	8.13
5.0	23.26	8.28	53.90	35.70	93.90	8.11
6.0	23.25	8.28	53.90	35.60	93.90	8.12
7.0	23.25	8.28	53.90	35.70	93.90	8.11
8.0	23.24	8.28	53.90	35.70	93.90	8.10
9.0	23.24	8.28	53.90	35.70	93.70	8.11
10.0	23.23	8.28	53.90	35.70	93.70	8.10
11.0	23.23	8.28	53.90	35.70	93.60	8.10
12.0	23.24	8.28	53.80	35.70	93.70	8.10
13.0	23.23	8.28	53.90	35.70	93.80	8.11
14.0	23.24	8.28	53.80	35.70	93.70	8.11
15.0	23.23	8.28	53.90	35.70	93.70	8.10
16.0	23.23	8.28	53.80	35.70	93.90	8.13
17.0	23.24	8.28	53.90	35.60	94.00	8.15
18.0	23.23	8.28	53.80	35.60	94.10	8.15
19.5	23.23	8.28	53.90	35.70	94.30	8.20
28.0	23.18	8.26	53.40	35.30	-	-

Tableau B.12: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S1 le 2 décembre, 2002

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.1	23.75	8.27	53.90	35.70	90.30	7.73
2.0	23.62	8.27	53.90	35.70	90.10	7.74
3.0	23.54	8.27	54.00	35.70	90.10	7.73
3.9	23.57	8.27	53.90	35.70	90.00	7.72
4.9	23.51	8.27	54.00	35.80	89.90	7.73
6.0	23.48	8.27	54.00	35.70	90.10	7.73
7.0	23.46	8.27	54.00	35.70	89.90	7.72
7.9	23.45	8.27	54.00	35.70	89.80	7.73
9.1	23.43	8.26	53.90	35.70	89.80	7.72
10.0	23.42	8.26	54.00	35.70	89.30	7.72
11.0	23.42	8.26	53.90	35.70	89.70	7.73
12.1	23.39	8.26	53.90	35.70	89.80	7.75
13.1	23.37	8.26	54.00	35.70	89.60	7.72
14.0	23.35	8.26	54.00	35.70	89.40	7.75
15.1	23.32	8.26	54.00	35.70	89.70	7.75
16.0	23.33	8.26	53.90	35.70	89.70	7.76
17.1	23.33	8.26	54.00	35.70	89.70	7.75
18.0	23.36	8.26	53.90	35.70	89.90	7.77
19.0	23.31	8.26	53.90	35.70	90.40	7.81
19.9	23.33	8.26	53.90	35.70	90.30	7.81
21.0	23.32	8.26	53.90	35.70	90.50	7.83
22.0	23.31	8.25	53.90	35.70	90.90	7.90
26.3	23.24	8.25	54.00	35.80	-	-

Tableau B.13: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S1 le 6 décembre, 2002

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.9	23.70	8.30	53.80	35.60	91.10	7.81
2.1	23.69	8.30	53.80	35.60	91.10	7.81
3.1	23.69	8.30	53.80	35.60	91.00	7.81
4.1	23.69	8.30	53.80	35.60	91.10	7.81
5.0	23.67	8.30	53.80	35.60	91.00	7.81
6.0	23.67	8.30	53.80	35.60	90.90	7.80
7.0	23.66	8.30	53.80	35.60	91.00	7.81
8.1	23.65	8.30	53.80	35.60	91.00	7.81
9.0	23.61	8.30	53.80	35.60	91.00	7.82
10.0	23.60	8.30	53.80	35.60	90.90	7.81
11.1	23.61	8.30	53.80	35.60	91.10	7.82
11.9	23.53	8.30	53.80	35.60	91.00	7.83
13.1	23.51	8.30	53.80	35.60	90.90	7.82
14.0	23.49	8.30	53.80	35.60	90.80	7.82
15.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.90	7.82
16.1	23.48	8.30	53.80	35.60	90.80	7.82
17.1	23.49	8.30	53.80	35.60	90.80	7.82
18.1	23.48	8.30	53.80	35.60	90.80	7.81
19.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.70	7.81
20.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.70	7.81
21.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.70	7.81
22.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.60	7.80
23.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.70	7.81
24.0	23.49	8.30	53.90	35.70	90.60	7.80
25.2	23.49	8.30	53.80	35.60	90.60	7.80
26.0	23.49	8.30	53.80	35.60	90.60	7.80
27.0	23.49	8.30	53.90	35.70	90.50	7.79
28.1	23.49	8.30	53.80	35.60	90.50	7.80

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
29.3	23.48	8.30	53.80	35.60	90.50	7.79
30.0	23.49	8.30	53.80	35.60	90.50	7.79
31.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.50	7.79
32.0	23.49	8.30	53.80	35.60	90.40	7.78
33.0	23.49	8.30	53.90	35.70	90.60	7.80
34.0	23.48	8.30	53.80	35.60	90.60	7.80

Tableau B.14: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S2 le 22 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.26	8.25	53.90	35.70	96.40	8.34
2.1	23.23	8.25	53.90	35.70	96.40	8.34
3.1	23.23	8.25	53.90	35.70	96.40	8.34
4.0	23.23	8.25	53.90	35.70	96.30	8.33
5.0	23.23	8.25	53.90	35.70	96.20	8.32
6.2	23.22	8.25	53.90	35.70	96.10	8.32
7.0	23.21	8.25	53.90	35.70	95.90	8.30
7.9	23.22	8.25	53.90	35.70	96.00	8.30
9.0	23.20	8.25	53.90	35.70	96.00	8.31
10.1	23.19	8.25	53.80	35.60	95.80	8.30
11.1	23.19	8.25	53.80	35.60	95.80	8.29
12.0	23.19	8.25	53.80	35.60	95.90	8.30
13.0	23.19	8.25	53.80	35.60	95.60	8.27
14.1	23.19	8.25	53.70	35.60	95.60	8.28
15.1	23.19	8.25	53.80	35.60	95.50	8.27
16.2	23.18	8.25	53.80	35.60	95.60	8.28
17.2	23.18	8.25	53.80	35.60	95.60	8.28
18.2	23.18	8.25	53.80	35.60	95.60	8.27
19.0	23.18	8.25	53.70	35.60	95.50	8.27
19.4	23.18	8.25	53.80	35.60	95.60	8.28

Tableau B.15: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S2 le 26 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.9	23.28	8.26	54.00	35.70	94.10	8.12
2.0	23.30	8.26	54.00	35.70	94.40	8.14
3.0	23.28	8.26	53.90	35.70	93.80	8.08
3.8	23.27	8.26	54.00	35.70	93.80	8.10
5.0	23.27	8.26	54.00	35.70	94.00	8.09
6.1	23.27	8.26	53.90	35.70	93.70	8.08
6.9	23.25	8.26	54.00	35.70	93.50	8.08
8.0	23.26	8.26	53.90	35.70	93.60	8.09
9.0	23.24	8.26	54.00	35.70	93.70	8.09
10.2	23.25	8.26	53.90	35.70	93.30	8.08
10.8	23.23	8.26	53.90	35.70	93.50	8.09
11.9	23.23	8.26	53.90	35.70	93.30	8.09
12.9	23.21	8.26	53.90	35.70	93.40	8.11
13.9	23.20	8.26	54.00	35.70	93.60	8.12
14.9	23.20	8.26	54.00	35.70	94.20	8.15
15.9	23.19	8.26	54.00	35.70	94.10	8.14
16.6	23.19	8.26	53.90	35.70	94.00	8.15
17.8	23.19	8.26	54.00	35.70	94.40	8.18
18.9	23.19	8.26	53.90	35.70	94.60	8.17
19.7	23.18	8.26	53.90	35.70	94.40	8.19
20.0	23.20	8.26	53.40	35.40	86.10	7.40
20.9	23.18	8.26	54.00	35.70	94.70	8.20
21.8	23.18	8.26	53.90	35.70	95.00	8.25
22.8	23.18	8.26	53.90	35.70	95.50	8.30

Tableau B.16: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S3 le 29 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
0.9	23.29	8.26	54.00	35.70	94.20	8.14
1.9	23.29	8.26	54.00	35.70	94.40	8.14
3.0	23.28	8.26	54.00	35.70	94.30	8.14
4.1	23.29	8.26	54.00	35.70	94.20	8.15
5.1	23.28	8.26	53.90	35.70	94.40	8.14
6.1	23.30	8.26	54.00	35.70	94.30	8.17
7.2	23.28	8.26	54.00	35.80	94.30	8.16
8.0	23.26	8.26	53.90	35.70	94.40	8.17
8.8	23.25	8.26	54.00	35.70	94.60	8.16
10.1	23.25	8.26	53.90	35.70	94.50	8.18
11.1	23.24	8.26	54.00	35.70	94.40	8.19
12.2	23.22	8.26	53.90	35.70	94.70	8.20
13.1	23.22	8.26	53.90	35.70	94.70	8.21
14.0	23.22	8.26	53.90	35.70	94.70	8.21
15.1	23.24	8.26	53.90	35.70	95.00	8.22
16.0	23.22	8.25	54.00	35.70	95.00	8.23
17.0	23.21	8.25	53.90	35.70	95.20	8.25
17.7	23.20	8.25	53.90	35.70	95.30	8.26
19.1	23.20	8.25	53.90	35.70	95.70	8.37
21.9	23.17	8.24	54.00	35.70	98.10	8.60
33.0	23.12	8.25	53.90	35.60	-	-

Tableau B.17: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage S3 le 29 novembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	23.29	8.27	53.90	35.70	92.20	7.98
2.0	23.28	8.27	54.00	35.70	92.30	7.98
3.0	23.28	8.27	54.00	35.70	92.30	7.98
4.0	23.27	8.27	54.00	35.70	92.30	7.99
5.0	23.25	8.27	53.90	35.70	92.20	7.99
6.0	23.23	8.27	54.00	35.70	92.30	8.00
7.0	23.22	8.27	53.90	35.70	92.40	8.01
8.0	23.20	8.27	53.90	35.70	92.50	8.03
9.0	23.20	8.27	53.90	35.70	92.70	8.02
10.0	23.19	8.27	53.90	35.70	92.60	8.03
11.0	23.19	8.27	53.90	35.70	92.60	8.04
12.0	23.17	8.27	54.00	35.70	92.90	8.03
13.0	23.17	8.27	53.90	35.70	92.90	8.05
14.0	23.15	8.27	53.90	35.70	92.80	8.06
15.0	23.15	8.27	53.90	35.70	93.00	8.07
16.0	23.14	8.27	53.90	35.70	93.00	8.06
17.0	23.13	8.27	54.00	35.70	93.10	8.07
18.0	23.04	8.27	54.00	35.70	93.40	8.11
19.0	23.05	8.27	54.00	35.70	93.60	8.12
20.0	23.06	8.27	53.90	35.70	93.80	8.17
21.7	23.04	8.27	54.00	35.70	95.30	8.29
30.0	23.00	8.27	53.70	35.50	-	-

Tableau B.18: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage W1 le 2 décembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.0	24.06	8.28	53.90	35.70	89.50	7.60
2.0	24.06	8.28	53.90	35.70	88.80	7.60
3.0	23.99	8.28	53.90	35.70	89.20	7.61
4.0	23.97	8.28	53.90	35.70	89.10	7.60
5.0	23.88	8.28	53.90	35.70	89.20	7.62
6.0	23.85	8.28	53.90	35.70	89.30	7.64
7.0	23.80	8.28	53.90	35.70	89.10	7.63
8.1	23.76	8.28	54.00	35.70	89.40	7.63
9.0	23.64	8.28	54.00	35.70	89.10	7.65
10.0	23.61	8.28	53.90	35.70	89.20	7.67
11.0	23.49	8.28	53.90	35.70	89.20	7.67
12.1	23.51	8.28	53.90	35.70	89.10	7.67
13.0	23.52	8.28	53.90	35.70	89.00	7.67
14.0	23.48	8.28	53.90	35.70	89.30	7.68
15.0	23.42	8.28	53.90	35.70	89.00	7.69
16.0	23.42	8.28	53.90	35.70	89.90	7.68
17.1	23.37	8.28	53.90	35.70	88.90	7.69
18.0	23.41	8.28	53.90	35.70	89.60	7.74
20.0	23.37	8.28	53.90	35.70	89.70	8.00
32.2	23.30	8.27	53.00	35.70	80.70	8.00

Tableau B.19: Données des profils Hydrolab au site d'amarrage W1 le 6 décembre, 2002.

Profondeur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
1.1	23.63	8.30	53.80	35.60	91.00	7.81
1.9	23.63	8.30	53.80	35.60	91.00	7.82
3.0	23.61	8.30	53.80	35.60	90.90	7.80
3.9	23.61	8.30	53.80	35.60	91.00	7.82
5.0	23.61	8.30	53.80	35.60	91.00	7.82
6.2	23.60	8.30	53.80	35.60	91.10	7.83
7.1	23.60	8.30	53.80	35.60	91.20	7.83
8.1	23.57	8.30	53.80	35.60	91.20	7.84
8.9	23.54	8.30	53.80	35.60	91.20	7.84
10.1	23.55	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
11.0	23.56	8.30	53.80	35.60	91.10	7.83
12.0	23.56	8.30	53.70	35.60	91.20	7.84
13.1	23.49	8.30	53.80	35.60	91.10	7.84
14.1	23.49	8.30	53.80	35.60	91.10	7.84
15.0	23.48	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
16.1	23.48	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
16.9	23.47	8.30	53.80	35.60	91.10	7.85
18.1	23.47	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
19.0	23.47	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
20.1	23.47	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
21.0	23.46	8.30	53.80	35.60	91.10	7.85
22.1	23.46	8.30	53.80	35.60	90.90	7.83
22.9	23.46	8.30	53.80	35.60	91.00	7.84
24.2	23.45	8.30	53.80	35.60	91.10	7.84
24.8	23.45	8.30	53.80	35.60	91.20	7.85
25.9	23.43	8.30	53.80	35.60	91.20	7.86
27.0	23.44	8.30	53.80	35.60	91.30	7.87

Profon deur	Température	pH	Conductivité	Salinité	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/l)
27.9	23.43	8.30	53.80	35.60	91.40	7.88
29.1	23.43	8.30	53.80	35.60	91.30	7.87
29.7	23.42	8.30	53.80	35.60	91.30	7.87
32.1	23.42	8.30	53.80	35.60	91.10	7.85