

Rapport final

Expertise, analyse de système, programmation et livraison d'une stratégie de déploiement pour la recherche, le sauvetage et l'intervention environnementale au Collège de la garde côtière canadienne à Sydney (Nouvelle-Écosse)

FP802-3-0013

Septembre 2004

Présenté par

Maja Bujas et Josko Bobanovic
285 ave Laurier Est, pièce 402
Montréal, QC
H2T 3E7
514.839.8007

Résumé

Dans ce rapport on présente les résultats d'une expérience effectuée avec le Système de cartographie des courants marins (*Ocean Current Mapping System*, OCMS) afin de déterminer la sensibilité des résultats prévisionnels au déploiement et au nombre de bouées repères électroniques à localisation automatique (*Self-Locating Datum Marker Buoys*, SLDMB). Les conclusions sont basées uniquement sur les prévisions obtenues au moyen de l'OCMS sans autre information additionnelle et les limites de cette expérience devraient donc être reconnues. Il a été constaté que le nombre optimal de bouées dérivantes s'établissait à entre 3 et 5, et que l'utilisation de bouées additionnelles ne fournissait aucune amélioration importante des prévisions de trajectoires sur 48 heures. Les données expérimentales suggèrent que la configuration du déploiement initial n'est pas importante et qu'idéalement toutes les bouées dérivantes devraient être déployées simultanément. Enfin, il a été impossible de dégager une indication claire quant aux dimensions de l'aire de déploiement en raison des contraintes imposées par les données et la méthodologie.

Abstract

This report presents the results of sensitivity experiment using Ocean Current Mapping System (OCMS) to determine sensitivity of the prediction results to the deployment and number of SLDMB buoys. These conclusions are based solely on the use of OCMS predictions without any additional information, hence the limitations should be recognized. It was found that the optimal number of drifters is between 3 and 5 and that adding additional drifter does not result in significant improvement in drifter trajectory predictions over 48 hours. The experimental data suggest that the initial deployment configuration is not important and that all drifters should be

ideally deployed at the same time. Finally, we could not clearly suggest the size of the deployment area due to the limitations of the data and methodology.

Introduction.....	5
Objectifs.....	6
Collecte et analyse de données pour le projet.....	6
Routine de poursuite de particules.....	9
Expériences de sensibilité.....	9
Buts.....	9
Description des expériences.....	10
Résultats et analyse.....	11
Détroit de Cabot I.....	11
Détroit de Cabot II.....	13
Île de Sable.....	14
Plate-forme néo-écossaise I.....	15
Plate-forme néo-écossaise II.....	15
Plate-forme néo-écossaise III.....	16
Grand Bancs.....	16
Lignes directrices.....	18
1. Nombre de bouées.....	19
2. Configuration initiale des bouées.....	20
3. Dimensions de l'aire de déploiement.....	20
4. Choix du moment du déploiement.....	21
Conclusions et recommandations.....	21
Annexe A : Lignes directrices sommaires pour le déploiement des SLDMB PIW.....	23
Nombre de bouées.....	23
Configuration initiale des bouées.....	23
Dimensions de l'aire de déploiement.....	23
Choix du moment du déploiement.....	24
Annexe B : Résultats expérimentaux additionnels.....	24

Introduction

Des essais effectués par la Garde côtière canadienne, le ministère de la Défense nationale et la garde côtière américaine (*U. S. Coast Guard*) ont démontré que l'exactitude de la planification de la recherche en mer est grandement améliorée par l'utilisation d'information en temps quasi-réel sur les courants. De récents projets de R et D de la Garde côtière canadienne ont montré que la manière la plus fiable d'obtenir cette information consiste à intégrer des données de «bouées repères électroniques à localisation automatique» («*Self-Locating Datum Marker Buoys*», SLDMB) à un programme de planification des recherches.

Le Système de cartographie des courants marins (OCMS) a été mis au point pour faciliter l'utilisation des données de SLDBM et leur transformation en cartes des courants, en trajectoires de bouées dérivantes et en estimations d'erreurs. Cela permet au personnel hautement qualifié en recherche et sauvetage d'extraire le maximum d'information des données de SLDBM. La qualité de cette information dépend cependant de la manière dont les SLDBM sont utilisées. De manière plus spécifique, l'efficacité du logiciel de cartographie dépend du nombre de bouées lâchées et de la configuration initiale de leur déploiement. Il est par conséquent critique d'examiner et d'analyser les stratégies de déploiement et leur sensibilité à des facteurs environnementaux comme la profondeur de l'eau, le vent et la proximité de la côte.

Les expériences numériques antérieures sur lesquelles fut basé l'OCMS ont permis d'établir que l'information la plus utile qui puisse être obtenue est celle extraite des SLDBM configurées de manière à représenter une personne à la mer (*person in the water*, PIW), et ce pour plusieurs raisons : (a) la bouée dérivante subit une dérive due au vent minimale (supposée

de 0) et fournit ainsi la meilleure approximation du courant de surface; (b) l'utilisation des données n'exige aucune autre information comme celle sur le vent; (c) ces bouées dérivantes ont offert un rendement plus stable pendant le déploiement parce qu'elles n'exigent pas le gonflement d'un radeau de sauvetage posant un risque additionnel de mauvais fonctionnement.

Il est important de souligner que ce projet repose entièrement sur l'information tirée des données de SLDBM sans l'apport d'autre information à l'exception des hypothèses intégrées à la plate-forme qu'est l'OCMS. Les conclusions qui peuvent être tirées seront donc basées uniquement sur ces mesures sans qu'aucune autre information objective soit ajoutée en cours d'analyse.

Objectifs

Les principaux objectifs de ce projet consistaient à élaborer i) une approche globale pour la détermination de la sensibilité de l'OCMS (et en bout de ligne du succès des opérations de recherche et sauvetage) et ii) un ensemble de lignes directrices pour le déploiement.

Collecte et analyse de données pour le projet

Après consultation initiale de l'équipe d'experts de la Garde côtière, on a décidé que deux expériences existantes comportant chacune deux essais (jeu de données du détroit de Cabot et jeu de données de la plate-forme néo-écossaise) seraient utilisées dans le cadre de ce projet. En outre, le Collège de la Garde côtière s'est chargé de la responsabilité de la collecte de données expérimentales additionnelles en eau profonde qui pourraient être utilisées pour vérifier le comportement de l'OCMS pour un régime d'écoulement différent. En consultation avec l'équipe de l'OCMS et suite à une discussion lors d'une réunion tenue à Halifax, on a conclu que

l'emplacement optimal pour l'exécution des essais au moindre coût se situait au large de l'île de Sable, juste à l'est du rebord de la plate-forme néo-écossaise. Afin de compléter ce jeu de données recueillies au large, la Garde côtière a recueilli des données sur les Grands Bancs à des fins de vérification et d'analyse de sensibilité additionnelles. En résumé, les essais ci-après ont été utilisés dans le cadre de ce projet.

N°	Expérience	Période	Essais
1.	Détroit de Cabot	Novembre 1999	2
2.	Plate-forme néo-écossaise	Octobre 2000	2
3.	Île de Sable	Novembre 2003	1
4.	Grands Bancs	Novembre 2003	1

Toutes les données disponibles ont fait l'objet d'une vérification manuelle à la recherche d'erreurs et de valeurs aberrantes avant d'être tracées pour examiner toute caractéristique ou comportement déraisonnable des bouées dérivantes. On a ensuite procédé à l'analyse des données au moyen de la plate-forme OCMS qui a généré des successions chronologiques horaires pour chaque expérience et calculé des valeurs des vecteurs vitesse pour chacune des bouées dérivantes disponibles. Ces fichiers de données ont été immédiatement mis à la disposition du Collège de la Garde côtière à des fins de recherche et d'enseignement. De plus, cet ensemble de données est l'élément fondamental des expériences et de l'analyse de la sensibilité au cœur de ce projet.

Les données ont été organisées en sept jeux de données expérimentales, deux pour le détroit de Cabot, trois pour la partie intérieure de la plate-forme néo-écossaise, un pour la région

au large de l'île de Sable et un pour les Grands Bancs. Un des essais menés sur la partie intérieure de la plate-forme néo-écossaise a été subdivisé en deux jeux de données en raison de l'écart important entre les deux groupes de bouées dérivantes qui ne fournissaient pas des champs d'écoulement chevauchants. Semblablement, deux bouées dérivantes ont été exclues de l'analyse parmi celles déployées lors d'un des essais sur la plate-forme néo-écossaise parce qu'elles s'éloignaient trop des cinq autres et que l'écart était trop important pour qu'il soit possible de générer une interaction raisonnable. Dans deux cas les bouées fournissaient des enregistrements d'une durée de plus de cinq jours, mais l'analyse a été limitée à cinq jours dans le cas de chacune des expériences pour des raisons d'uniformisation. Un résumé des jeux de données expérimentales est présenté ci-après.

N ^o	Jeu de données	Période	Nombre de bouées utilisées
1.	Détroit de Cabot I	Novembre 1999	5
2.	Détroit de Cabot II	Novembre 1999	5
3.	Plate-forme néo-écossaise I	Octobre 2000	7
4.	Plate-forme néo-écossaise II	Octobre 2000	8
5.	Plate-forme néo-écossaise III	Octobre 2000	5
6.	Île de Sable	Novembre 2003	8
7.	Grand Bancs	Novembre 2003	8

La disponibilité globale des bouées dans chacun des jeux de données assurait qu'un nombre suffisant d'expériences numériques pouvaient être exécutées et que des conclusions adéquates pouvaient être tirées.

Routine de poursuite de particules

Afin d'évaluer la qualité des prévisions qui pouvaient être obtenues en utilisant des nombres variables de bouées dérivantes, nous avons mis au point une routine de poursuite de particules. Dans le but de minimiser l'interférence avec le logiciel existant, la routine a été élaborée sous forme d'une fonction externe de post traitement dans le Matlab. Bien que sous-optimale dans sa configuration actuelle, elle reste relativement efficace et n'augmente pas le temps de traitement de manière importante. Cette approche nous a permis d'utiliser les champs de vitesses stockés sans avoir à nécessairement répéter dans chaque cas les calculs complexes exécutés par l'OCMS.

Expériences de sensibilité

Le cœur de ce projet consiste en une série d'expériences de sensibilité effectuées avec chacun des jeux de données au moyen de la routine de poursuite de particules.

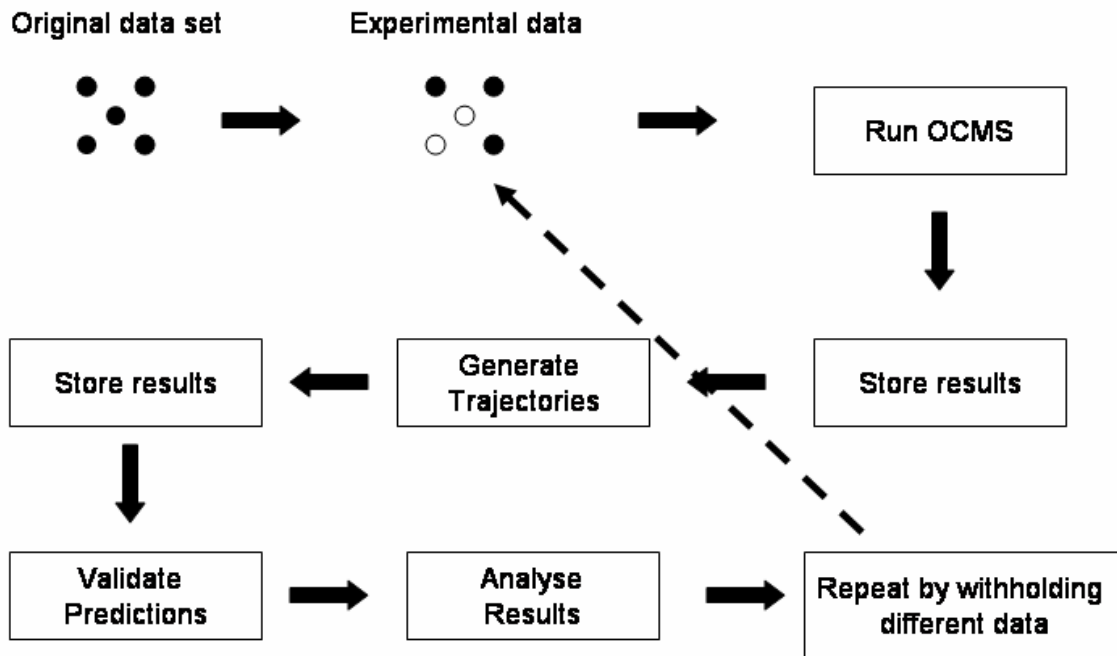
Buts

1. Établir une méthode objective et uniforme pour l'analyse et la comparaison de la capacité de prévision des SLDMB.
2. Analyser la sensibilité des erreurs de prévision en fonction de l'accroissement ou de la réduction du nombre de bouées dérivantes utilisées lors des expériences.

3. Évaluer la sensibilité des erreurs de prévision en fonction de la configuration initiale des bouées dérivantes.
4. Évaluer la sensibilité des erreurs de prévision en fonction de la taille de l'aire de déploiement des bouées dérivantes et/ou de la distance initiale les séparant.

Description des expériences

Le principal ensemble d'expériences a été mené comme suit (voir le schéma ci-après). Le jeu de données d'origine a été sous-échantillonné (c.-à-d. que les données de certaines bouées ont été exclues) et les données ont été soumises à l'OCMS. Le système stockait un ensemble de champs de vitesses pour la période couverte et ces champs de vitesses étaient ensuite utilisés pour calculer les trajectoires de chacune des bouées disponibles, mais en outre pour un «groupe» virtuel de particules défini par un cercle tracé autour du point de données central. Les résultats étaient stockés et l'expérience était répétée en modifiant les bouées pour lesquelles les données étaient exclues. Pour chacun des jeux de données, de 15 à 20 combinaisons différentes de bouées exclues ont été utilisées, ce qui a fourni un jeu de données raisonnable à soumettre à une analyse plus poussée. Ainsi, on a effectué au total environ 140 expériences numériques.



Jeu de données d'origine

Données expérimentales

Exécution de l'OCMS

Stockage des résultats

Génération de trajectoires

Stockage des résultats

Validation des prévisions

Analyse des résultats

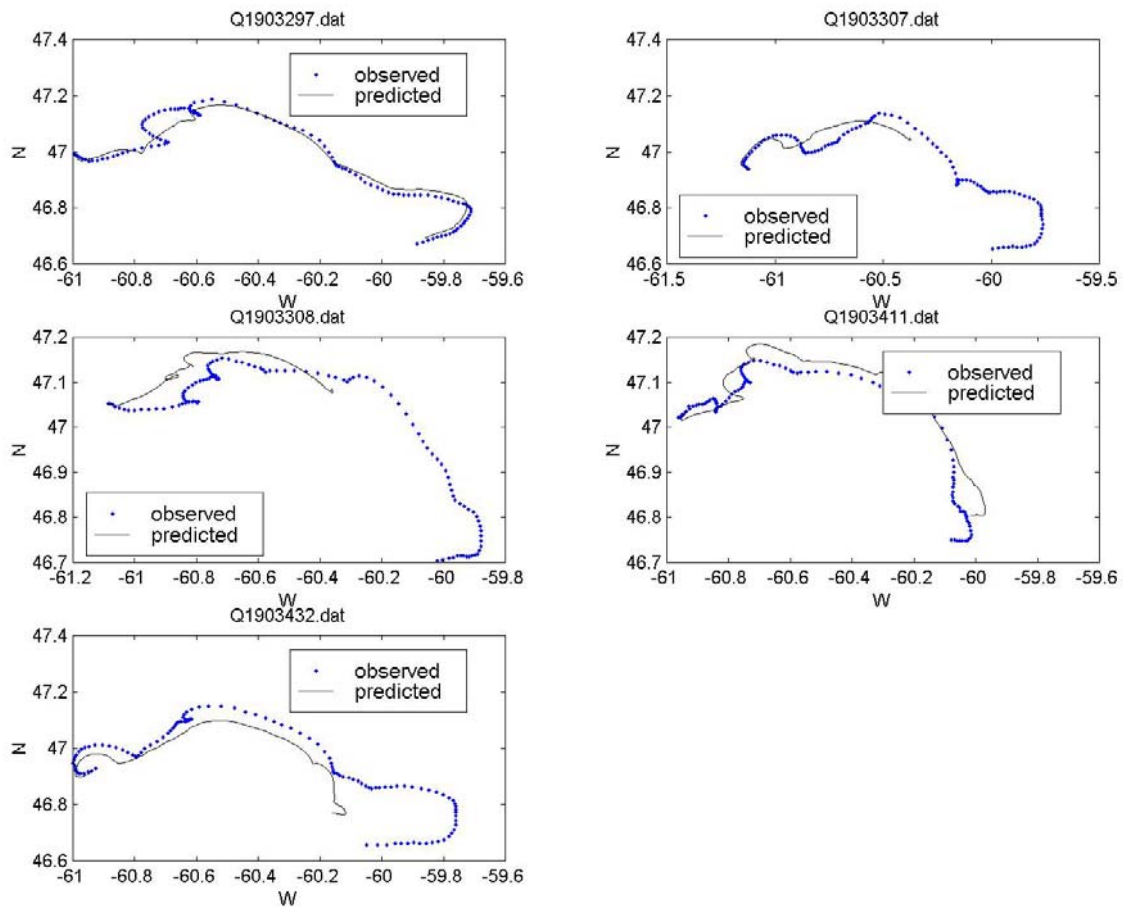
Répétition en excluant des données différentes

Résultats et analyse

Détroit de Cabot I

Cette expérience a été faite dans la partie occidentale du détroit de Cabot, près de la côte de l'île du Cap Breton. Les bouées dérivantes ont été advectées dans le détroit de Cabot et sont

restées groupées pendant toute la durée des cinq jours. À des fins d'illustration, une comparaison des trajectoires observées et prévues des bouées dans le cadre de cette expérience est fournie ci-après. Dans ce cas, les prévisions ont été obtenues en utilisant toutes les bouées disponibles pour calculer le champ de vitesses puis les trajectoires de particules individuelles. Les résultats (voir le tableau général des résultats à la fin de cette section) révèlent une nette amélioration d'après l'information additionnelle fournie au système puisque (malgré un déplacement relativement groupé des bouées dérivantes) l'erreur de prévision sur 24 heures diminue de 11,2 km lorsqu'une seule bouée est utilisée à 7,3 km lorsque trois bouées sont utilisées. À mesure que la période de validité des prévisions est allongée, l'influence de bouées additionnelles est réduite et l'erreur ne devient réduite que de manière marginale de 12 à 11 km.



observed = observée

predicted = prévue

Figure 1. Trajectoires observées et prévues de bouées dérivantes lors de l'expérience I du détroit de Cabot.

Les prévisions ont été obtenues au moyen de toutes les bouées disponibles.

Détroit de Cabot II

Cette expérience s'est déroulée juste à l'est du détroit de Cabot et sur le rebord du chenal Laurentien. Les trajectoires résultantes des bouées sont très complexes et divergentes, comme en témoignent les résultats de nos expériences numériques puisque les erreurs obtenues étaient d'au

moins 50 % supérieures à celles obtenues pour l'expérience I du détroit de Cabot. Globalement, les erreurs pour un intervalle de validité des prévisions de 24 heures diminuaient de 18 km lorsqu'une seule bouée était utilisée à 11 km lorsque trois bouées étaient utilisées. L'effet de l'utilisation d'un plus grand nombre de bouées est encore plus saisissant pour un intervalle de validité des prévisions de 48 heures puisque l'erreur à l'utilisation d'une seule bouée est de 32 km, mais diminue considérablement à l'utilisation de trois bouées pour s'établir à 16 km seulement.

Île de Sable

L'expérience menée à l'île de Sable a joué un rôle clé de validation de l'utilisation de l'OCMS en eau plus profonde, puisqu'il s'agissait du premier ensemble de bouées dérivantes mis à l'épreuve avec le système. Ce fut en outre une expérience menée avec un grand nombre de bouées (8) qui a permis l'exécution d'un grand nombre d'expériences avec différentes combinaisons de bouées et l'évaluation des avantages de l'utilisation d'un nombre relativement important de bouées disponibles. Les prévisions pour 24 heures montrent que l'erreur sur la prévisions diminue de manière saisissante lorsque jusqu'à quatre bouées sont utilisées pour l'estimation du champ d'écoulement. Une situation similaire est observée pour un intervalle de validité des prévisions de 48 heures. Dans les deux cas, l'ajout de bouées (aux 4 précédemment utilisées) améliore les prévisions (comme on pourrait s'y attendre), mais non de manière saisissante. Il s'agit là d'un résultat très important car il illustre les limites de la prévisibilité pour la méthode utilisée. En d'autres termes, l'utilisation d'un nombre illimité de bouées n'entraînerait pas l'élimination de l'erreur sur la prévision. L'examen de l'erreur absolue sur la prévision peut dans une certaine mesure s'avérer trompeur car cette expérience a été menée en

eau plus profonde avec une configuration initiale relativement dispersée des bouées. Dans l'ensemble, cette expérience suggère que les bouées pourraient être déployées plus loin les unes des autres en eau plus profonde que sur la plate-forme continentale. La généralisation de cette affirmation serait cependant une pure supposition.

Plate-forme néo-écossaise I

Cette expérience a représenté une situation classique sur la partie intérieure de plate-forme continentale avec guidage par les marées et écoulements entraînés par le vent. Après 24 heures, les erreurs de prévision étaient relativement similaires (5 à 6 km) quelque soit le nombre de bouées dérivantes utilisées; cependant, après 48 heures l'importance relative de plus grands nombres de bouées est très nette puisque les erreurs passent de 10,6 km à 7,4 km lorsque le nombre des bouées dérivantes est accru. Ces résultats sont importants puisqu'ils pourraient suggérer qu'un plus petit nombre de bouées serait suffisant pour les premières 24 heures. Cependant, sous l'influence d'une forte dispersion par les marées et d'écoulements entraînés par les vents, les bouées commencent à diverger de manière plus marquée après le premier jour et les avantages de l'utilisation d'un plus grand nombre de bouées pour la prévision sont nettement démontrés à l'examen de l'intervalle de validité des prévisions de 48 heures.

Plate-forme néo-écossaise II

Un grand nombre de bouées dérivantes étaient également disponibles dans le cadre de cette expérience, ce qui a permis l'exécution d'un certain nombre d'expériences dans lesquelles différentes combinaisons de bouées ont été utilisées. À la comparaison de cette expérience avec celle menée en eau profonde au large de l'île de Sable et pour laquelle un grand nombre de bouées étaient aussi disponibles, on constate que les similitudes dans les résultats sont

frappantes. L'erreur sur la prévision est réduite à mesure que des bouées sont initialement ajoutées, mais il n'y a que très peu d'amélioration lorsque plus de 4 bouées sont utilisées. Ces résultats sont très similaires à ceux obtenus au large de l'île de Sable et suggèrent que l'utilisation de 4 bouées dérivantes semble fournir les résultats optimaux pour la prévision d'autres trajectoires de bouées. Il faut toutefois souligner que ces conclusions sont ici encore tirées d'un échantillon relativement petit d'expériences et de la prévision de trajectoires de bouées d'après des données fournies par des bouées.

Plate-forme néo-écossaise III

Cette expérience a été menée simultanément à l'expérience II sur la plate-forme néo-écossaise, mais les bouées dérivantes ont été lâchées en un groupe distinct et les résultats sont présentés sous forme d'un jeu indépendant de données expérimentales. L'aire de déploiement était caractérisée par des courants relativement faibles ce qui explique que les bouées sont longtemps restées en un groupe compact (voir les trajectoires échantillons en annexe). La prévisibilité de leurs déplacements en est en conséquence améliorée, ce qui est nettement illustré par l'erreur sur la prévision pour des intervalles de validité des prévisions de 24 ou de 48 heures (respectivement de 2 à 3 et de 3 à 4 km) qui est faible et qui ne diminue pas de manière significative si des bouées sont ajoutées. Cette expérience permet de tirer deux conclusions : i) une configuration serrée de déploiement exige un nombre moins important de bouées dérivantes, mais ii) en fournissant des résultats limités si on s'éloigne du groupe de bouées lâchées.

Grand Bancs

L'expérience sur les Grands Bancs a consisté en un lâcher de cinq bouées. Malheureusement ces bouées ont été lâchées en deux groupes, l'un de deux et l'autre de trois

bouées, séparés d'environ 20 km. Il s'ensuit qu'il n'existait aucune corrélation spatiale entre les deux groupes. En conséquence, les courants générés pour le champ global ne paraissaient pas raisonnables. Cette expérience constituait un excellent test et une excellente validation des capacités de l'OCMS. Elle confirmait efficacement le fait qu'un outil statistique comme l'OCMS n'est utile que si l'information de bouées dérivantes est disponible pour une étendue géographique de taille relativement petite. Ces résultats ont une incidence importante sur nos conclusions et lignes directrices générales, mais il n'ont pas été inclus dans les tableaux globaux puisqu'ils ne pouvaient pas être comparés de la même manière à ceux de toutes les autres expériences.

Tableau 1 Erreurs médianes sur la position obtenues avec l'OCMS pour un intervalle de validité des prévisions de 24 heures. Les erreurs sont indiquées en kilomètres. Dans la première colonne on indique le nombre de bouées utilisées pour obtenir la prévision.

ERREURS MÉDIANES DE PRÉVISION POUR 24 HEURES						
Nombre de bouées	CABOT I	CABOT II	SABLE	NÉO-ÉCOSSAIS I	NÉO-ÉCOSSAIS III	NÉO-ÉCOSSAIS III
1	11,2	18,3	9,8	6,2	7,9	2,8
2	8,6	13,4	7,8	5,5	6,6	2,5
3	7,3	11,4	6,7	5,1	6,0	2,3
4	7,1	10,5	6,1	5,4	5,6	2,2
5			5,6		5,4	
6			5,2		5,5	
7			5,0		5,8	

Tableau 2 Erreurs médianes sur la position obtenues avec l'OCMS pour un intervalle de validité des prévisions de 48 heures. Les erreurs sont indiquées en kilomètres. Dans la première colonne on indique le nombre de bouées utilisées pour obtenir la prévision.

ERREURS MÉDIANES DE PRÉVISION POUR 48HEURES						
Nombre de bouées	CABOT I	CABOT II	SABLE	NÉO-ÉCOSSAIS I	NÉO-ÉCOSSAIS III	NÉO-ÉCOSSAIS III
1	12,7	32,1	17,0	10,6	9,7	4,0
2	11,7	21,2	12,6	8,6	8,9	3,4
3	11,6	16,5	10,5	7,7	8,5	3,2
4	11,7	14,4	9,4	7,4	8,4	3,3
5			9,0		8,2	
6			8,6		8,4	
7			8,4		8,7	

Lignes directrices

Suite aux expériences décrites ci-haut et à leur analyse, les lignes directrices exposées ci-après ont été formulées. Elles sont basées sur l'analyse quantitative et qualitative de sept essais avec des bouées dérivantes choisis de manière à représenter les conditions près du littoral, sur la plate-forme continentale et en eau profonde. Aucune autre information sur l'océanographie physique des régions d'étude (p. ex. marées, écoulement de référence ou vent) n'a été intégrée à l'analyse. À l'examen de ces lignes directrices, il faut tenir compte du nombre limité d'essais et de l'absence d'information de référence sur les courants.

1. Nombre de bouées

Nombre minimum de bouées

Notre examen des capacités de prévision de l'OCMS suggère qu'au moins trois SLDMB PIW devraient être utilisées pour faciliter les opérations SAR. Cette conclusion est basée sur l'analyse quantitative des six essais avec bouées dérivantes de la capacité de prévision sur 24 heures de l'OCMS. L'évaluation montre clairement les avantages de l'ajout incrémentiel d'une deuxième puis d'une troisième bouées pour l'analyse.

Nombre maximum de bouées

D'après les six essais effectués, nous concluons que l'utilisation de plus de cinq bouées dans des étendues relativement confinées comme celles étudiées ici n'ajoute aucune information importante dans l'OCMS. Cette conclusion pourrait être changée i) si les bouées dérivantes sont déployées dans des champs d'écoulement hautement structurés (p. ex. dans des tourbillons ou des courants jets côtiers bien définis du Gulf Stream), ii) si les bouées dérivantes sont réparties sur des étendues plus grandes que les régions étudiées ici, iii) si de l'information d'océanographie physique de référence pertinente est disponible et permet d'ajouter de la valeur aux observations de bouées dérivantes, iv) si un mécanisme différent était utilisé pour analyser les données et extraire l'information. La décision finale quant au nombre de bouées à utiliser doit être prise par un personnel expérimenté dans un cadre opérationnel.

En résumé, d'après notre analyse des six essais, nous concluons que le nombre optimal de bouées dérivantes à utiliser dans le cadre d'opérations de recherche et sauvetage menées avec l'aide de l'OCMS se situe entre trois et cinq.

2. Configuration initiale des bouées

L'analyse des six essais suggère que la configuration initiale de déploiement des bouées dérivantes n'est pas critique. Que les bouées soient déployées sur une même ligne, en forme de carré ou de triangle, la variabilité spatio-temporelle combinée du champ d'écoulement réorganise rapidement la configuration. Cela ne veut pas dire que toutes les bouées devraient être déployées au même endroit, mais plutôt que les caractéristiques spécifiques de la configuration ne sont pas critiques. Il est toutefois important de noter (comme on peut le conclure d'après l'essai sur les Grands Bancs) que la distance initiale séparant les bouées les unes des autres ne doit pas être trop grande; elle devrait être de manière caractéristique de l'ordre de 5 à 10 km.

Si trois bouées sont disponibles, il est suggéré de les déployer suivant un triangle centré sur la position la plus vraisemblable de la cible SAR au moment du déploiement. Si aucune autre information n'est disponible, cette position devrait être la dernière position connue. Si quatre bouées sont disponibles, il est suggéré d'en déployer trois en forme de triangle et la quatrième au centre de celui-ci. Tel que mentionné précédemment, les caractéristiques précises de la configuration initiale ne sont pas critiques et les configurations proposées ici le sont uniquement à titre de suggestions. Dans ce cas également, la configuration réelle utilisée devrait être décidée au niveau opérationnel en fonction de considérations pratiques (p. ex. disponibilité des aéronefs, heure de la dernière position connue).

3. Dimensions de l'aire de déploiement

Les dimensions de l'aire de déploiement initiale déterminent en fin de compte la région subséquente de SAR. Plusieurs facteurs devraient être pris en considération au moment de préciser la taille de l'aire de déploiement : i) la variabilité spatiale historique (connue) du champ

de courant, ii) l'incertitude quant à la position présente de la cible de SAR, iii) l'information sur les conditions météorologiques au moment de l'incident et de l'opération de SAR. Il est par conséquent impossible de fournir des consignes claires quantifiables quant aux dimensions de l'aire de déploiement d'après les données limitées disponibles. En général, les dimensions de l'aire de déploiement dépendront en outre du nombre de bouées utilisées et elles déterminent en retour l'incertitude propagée en fonction du temps. Une certaine information additionnelle pourrait en principe être extraite de modèles numériques réalistes de la circulation océanique. La décision finale devrait être prise au niveau opérationnel en tenant compte de tous les facteurs pertinents.

4. Choix du moment du déploiement

Les bouées dérivantes devraient être déployées le plus rapidement possible. Il est évident qu'il existe des contraintes de nature opérationnelle et qu'elles peuvent de manière caractéristique engendrer des retards de cinq à six heures. Cependant, nous sommes d'avis que toutes les bouées dérivantes devraient être déployées le plus tôt possible. Le fait d'allonger la période pendant laquelle les bouées sont déployées n'ajouterait aucune valeur au déploiement, mais rendrait plus difficile leur poursuite au moyen de l'OCMS. Cela engendrerait en outre un accroissement des coûts et des contraintes opérationnelles pour l'équipage de l'aéronef sans ajouter de valeur importante au déploiement.

Conclusions et recommandations

Un certain nombre de conclusions additionnelles peuvent être tirées de cette expérience, mais il a été décidé de centrer l'attention sur celles pouvant aider à fournir de meilleures

estimations des trajectoires des bouées dérivantes (à titre d'information indirecte sur la cible de recherche et sauvetage).

1. Il est fortement suggéré d'utiliser l'OCMS avec la fonction information de référence sur le champ puisque celle-ci contribue à assurer une meilleure exactitude des champs de courant prévus.
2. Il est suggéré de continuer à utiliser la configuration «personne à la mer» lors du lâcher des SLDMB puisqu'elle fournit des données de grande qualité faciles à interpréter.
3. Il est suggéré que d'autres expériences soient menées suite à la collecte de données additionnelles afin de valider et de renforcer les lignes directrices ici présentées.

Annexe A : Lignes directrices sommaires pour le déploiement des SLDMB PIW

Nombre de bouées

Nombre minimum de bouées

Notre examen des capacités de prévision de l'OCMS suggère qu'au moins trois SLDMB PIW devraient être utilisées pour faciliter les opérations SAR. Cette conclusion est basée sur l'analyse quantitative des six essais avec bouées dérivantes de la capacité de prévision sur 24 heures de l'OCMS. L'évaluation montre clairement les avantages de l'ajout incrémentiel d'une deuxième puis d'une troisième bouées pour l'analyse.

Nombre maximum de bouées

D'après les six essais effectués, nous concluons que l'utilisation de plus de cinq bouées dans des étendues relativement confinées comme celles étudiées ici n'ajoute aucune information importante dans l'OCMS. Cette conclusion pourrait être changée i) si les bouées dérivantes sont déployées dans des champs d'écoulement hautement structurés (p. ex. dans des tourbillons ou des courants jets côtiers bien définis du Gulf Stream), ii) si les bouées dérivantes sont réparties dans des étendues plus grandes que les régions étudiées ici, iii) si de l'information d'océanographie physique de référence pertinente est disponible et permet d'ajouter de la valeur aux observations de bouées dérivantes, iv) si un mécanisme différent était utilisé pour analyser les données et extraire l'information. La décision finale quant au nombre de bouées à utiliser doit être prise par un personnel expérimenté dans un cadre opérationnel.

En résumé, d'après notre analyse des six essais, nous concluons que le nombre optimal de bouées dérivantes à utiliser dans le cadre d'opérations de recherche et sauvetage menées avec l'aide de l'OCMS se situe entre trois et cinq.

Configuration initiale des bouées

L'analyse des six essais suggère que la configuration initiale de déploiement des bouées dérivantes n'est pas critique. Que les bouées soient déployées sur une même ligne, en forme de carré ou de triangle, la variabilité spatio-temporelle combinée du champ d'écoulement réorganise rapidement la configuration. Cela ne veut pas dire que toutes les bouées devraient être déployées au même endroit, mais plutôt que les caractéristiques spécifiques de la configuration ne sont pas critiques. Il est toutefois important de noter (comme on peut le conclure d'après l'essai sur les Grands Bancs) que la distance initiale séparant les bouées les unes des autres ne doit pas être trop grande; elle devrait être de manière caractéristique de l'ordre de 5 à 10 km.

Si trois bouées sont disponibles, il est suggéré de les déployer suivant un triangle centré sur la position la plus vraisemblable de la cible SAR au moment du déploiement. Si aucune autre information n'est disponible, cette position devrait être la dernière position connue. Si quatre bouées sont disponibles, il est suggéré d'en déployer trois en forme de triangle et la quatrième au centre de celui-ci. Tel que mentionné précédemment, les caractéristiques précises de la configuration initiale ne sont pas critiques et les configurations proposées ici le sont uniquement à titre de suggestions. Dans ce cas également, la configuration réelle utilisée devrait être décidée au niveau opérationnel en fonction de considérations pratiques (p. ex. disponibilité des avions, heure de la dernière position connue).

Dimensions de l'aire de déploiement

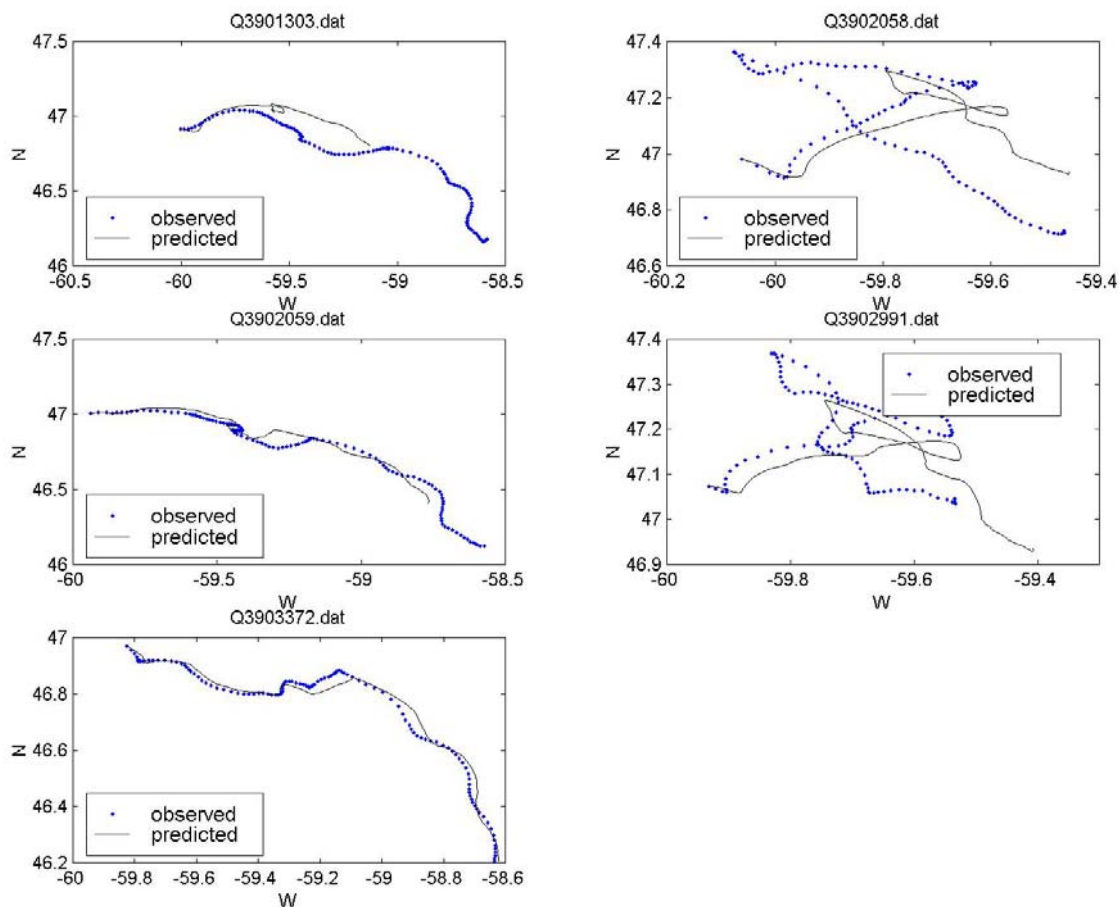
Les dimensions de l'aire de déploiement initiale déterminent en fin de compte la région subséquente de SAR. Plusieurs facteurs devraient être pris en considération au moment de préciser la taille de l'aire de déploiement : i) la variabilité spatiale historique (connue) du champ de courant, ii) l'incertitude quant à la position présente de la cible de SAR, iii) l'information sur les conditions météorologiques au moment de l'incident et de l'opération de SAR. Il est par conséquent impossible de fournir des consignes claires quantifiables quant aux dimensions de l'aire de déploiement d'après les données limitées disponibles. En général, les dimensions de l'aire de déploiement dépendront en outre du nombre de bouées utilisées et elles déterminent en retour l'incertitude propagée en fonction du temps. Une certaine information additionnelle pourrait en principe être extraite de modèles numériques réalistes de la circulation océanique. La décision finale devrait être prise au niveau opérationnel en tenant compte de tous les facteurs pertinents.

Choix du moment du déploiement

Les bouées dérivantes devraient être déployées le plus rapidement possible. Il est évident qu'il existe des contraintes de nature opérationnelle et qu'elles peuvent de manière caractéristique engendrer des retards de cinq à six heures. Cependant, nous sommes d'avis que toutes les bouées dérivantes devraient être déployées le plus tôt possible. Le fait d'allonger la période pendant laquelle les bouées sont déployées n'ajouterait aucune valeur au déploiement, mais rendrait plus difficile leur poursuite au moyen de l'OCMS. Cela engendrerait en outre un accroissement des coûts et des contraintes opérationnelles pour l'équipage de l'aéronef sans ajouter de valeur importante au déploiement.

Annexe B : Résultats expérimentaux additionnels

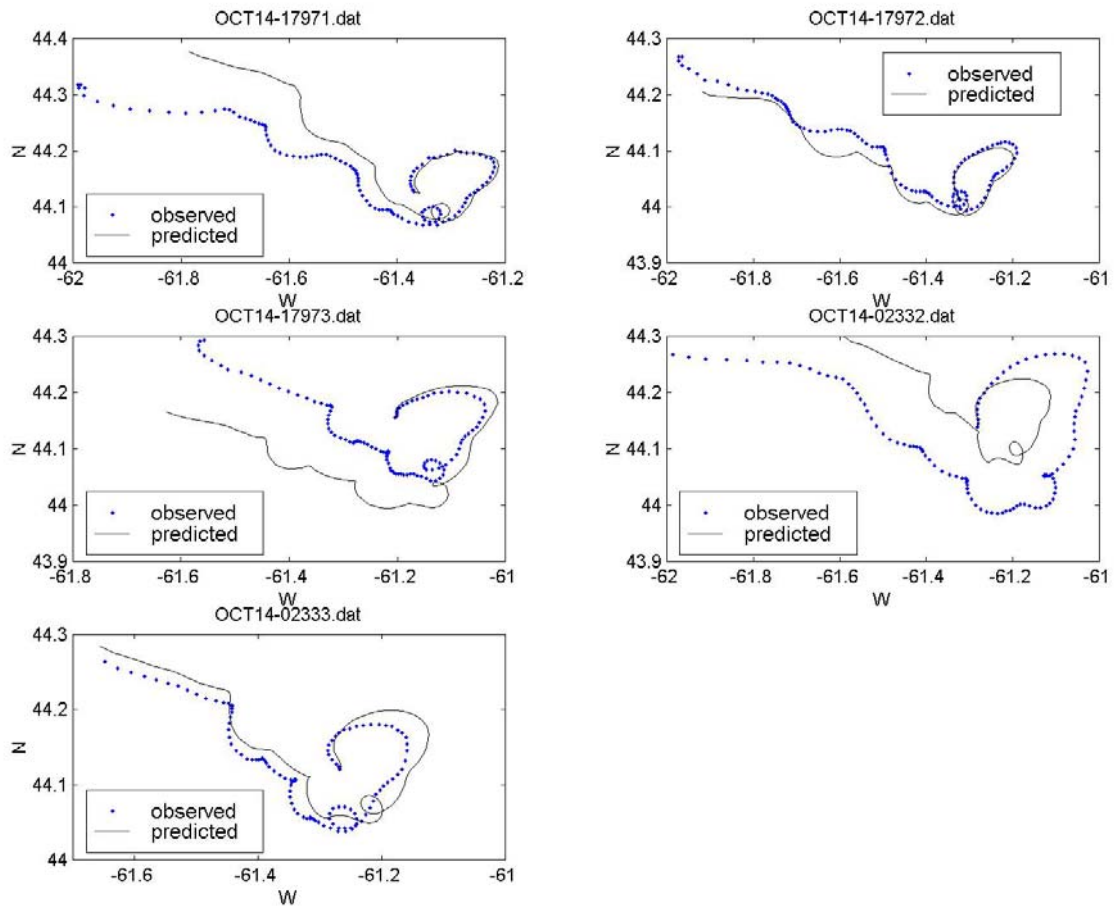
Détroit de Cabot II : Trajectoires observées et prévues de bouées dérivantes lorsque toutes les bouées disponibles sont utilisées pour prévoir les champs d'écoulement.



observed = observée

predicted = prévue

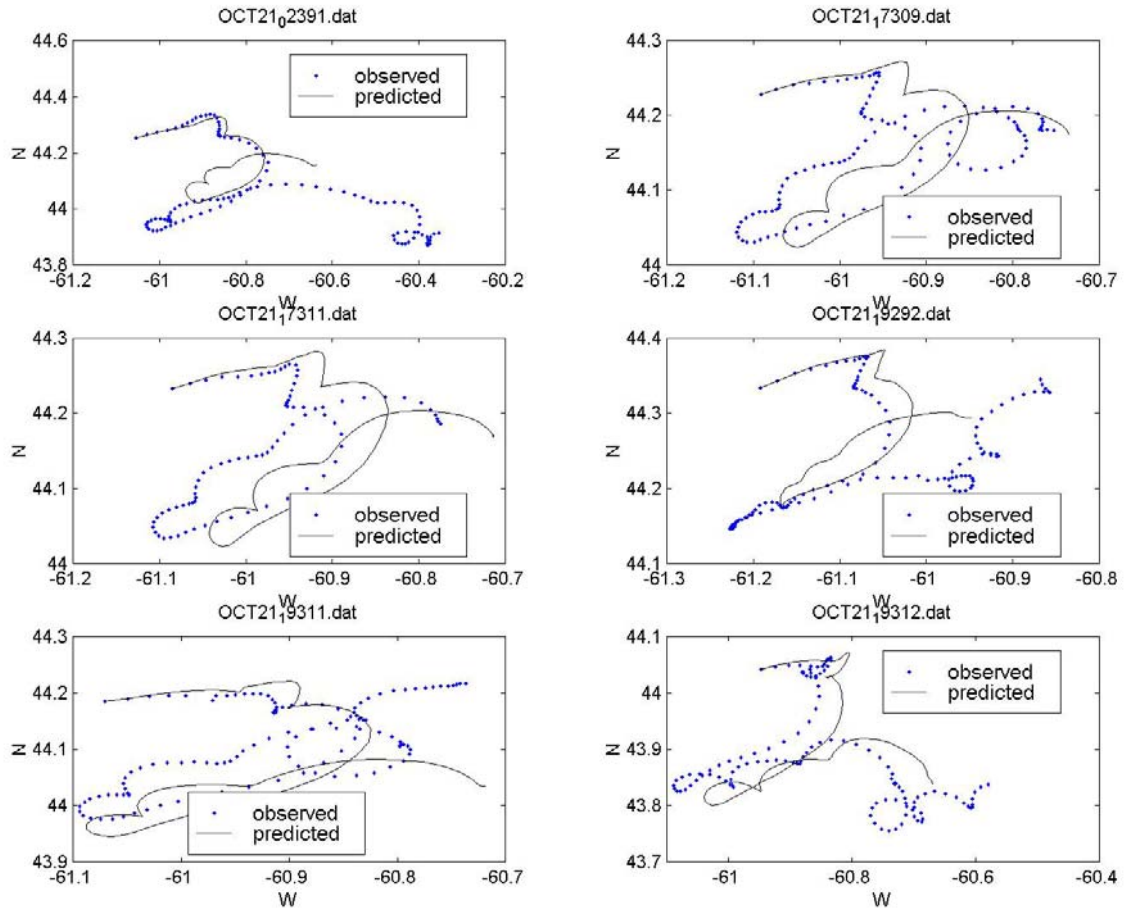
Plate-forme néo-écossaise I : Trajectoires observées et prévues de bouées dérivantes lorsque toutes les bouées disponibles sont utilisées pour prévoir les champs d'écoulement.



observed = observée

predicted = prévue

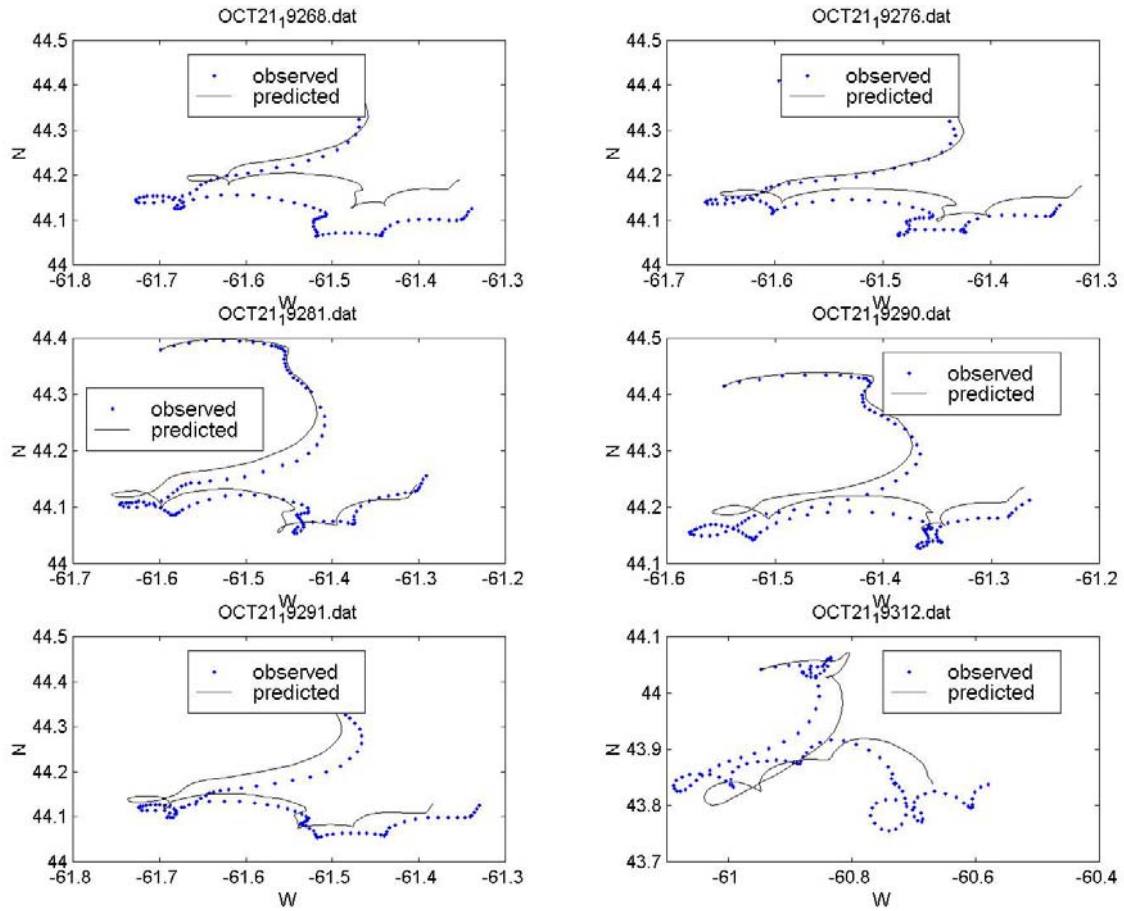
Plate-forme néo-écossaise II : Trajectoires observées et prévues de bouées dérivantes lorsque toutes les bouées disponibles sont utilisées pour prévoir les champs d'écoulement.



observed = observée

predicted = prévue

Plate-forme néo-écossaise III : Trajectoires observées et prévues de bouées dérivantes lorsque toutes les bouées disponibles sont utilisées pour prévoir les champs d'écoulement.



observed = observée

predicted = prévue