



**Plage Parlee et baie de Shediac**

**Étude de modélisation  
hydrodynamique**

**Nouveau-Brunswick**

Présentée au :

Ministère de la Santé, Nouveau-  
Brunswick

520, rue King, place Carleton

Fredericton (N.-B.) E3B 5G8

Présentée par :

**Amec Foster Wheeler – Environnement et  
infrastructure**

**une Division d'Amec Foster Wheeler Americas  
Limited**

50 Troop Avenue,

bureau 300

Dartmouth (N.-É.) B3B

1Z1

8 décembre 2017

**Amec Foster Wheeler, projet N° TA1780801**

## TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION .....	4
1.1	Objectifs de l'étude .....	5
1.2	Aperçu .....	5
2.0	CONDITIONS DE FORÇAGE MÉTÉOCÉAN .....	6
2.1	Statistiques climatiques relatives au vent.....	6
2.2	Statistiques climatiques relatives aux vagues .....	9
3.0	MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION .....	11
3.1	Préparation du modèle Delft3D fondé sur les données hydrodynamiques et relatives aux vagues .....	11
3.2	Validation de la modélisation des marées au moyen du logiciel Delft3D.....	13
3.3	Définitions du scénario relatif au modèle .....	14
4.0	RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION.....	16
4.1	Modélisation des schémas de circulation.....	16
4.2	Schémas hypothétiques du transport des substances polluantes près de la plage Parlee18	
5.0	CONCLUSIONS.....	21
6.0	BIBLIOGRAPHIE .....	22
	ANNEXE A.....	23
	ANNEXE B.....	32
	ANNEXE C.....	41

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 – Statistiques mensuelles sur les vents pour le nœud M6010119 du SMC50 (1985-2015) près de la baie de Shediac.....	7
Tableau 2-2 – Distribution des fréquences mensuelles relatives à la direction des vents provenant de la simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac.....	7
Tableau 2-3 – Statistiques mensuelles sur les vagues pour le nœud M6010119 du SMC50 (1985-2015) près de la baie de Shediac.....	9
Tableau 3-1 – Comparaison des données observées et modélisées relatives aux composantes de la marée près de la baie de Shediac, N.-B. ....	14
Tableau 3-2 – Résumé des scénarios modélisés de dispersion hypothétique des substances polluantes près de la plage Parlee, N.-B. ....	15
Tableau 4-1 – Résumé des schémas modélisés de dispersion hypothétique de substances polluantes près de la plage Parlee, N.-B. ....	15

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 – Stations de marégraphes historiques utilisées pour la validation du modèle.....	4
Figure 2-1 – Distribution mensuelle sur la direction des vents provenant du nœud de simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac .....	8
Figure 2-2 – Distribution mensuelle sur la direction des vagues provenant de la simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac .....	10
Figure 3-1 – Élévation du lit selon le modèle hydrodynamique Delft3D .....	12

Figure 3-2 – Élévation du lit selon le modèle hydrodynamique Delft3D dans les environs de la plage Parlee et de la partie sud de Shediac. Les carrés rouges indiquent l'emplacement des deux sources hypothétiques de substances polluantes diluées.....	12
Figure 4-1 – Modélisation des courants résiduels soumis à un forçage par la marée seulement; moyenne calculée sur un cycle diurne complet.....	17
Figure 4-2 – Modélisation des concentrations de substances polluantes (unités nominales) à la plage Parlee pour les huit scénarios de vents présentés.....	20

## 1.0 INTRODUCTION

Amec Foster Wheeler a préparé la présente étude de modélisation de l'hydrodynamique et du transport des substances polluantes près de la plage Parlee et de la baie de Shediac au N.-B. pour aider le ministère de la Santé du Nouveau-Brunswick à déterminer comment sont transportées les bactéries dans l'environnement côtier et ainsi contribuer au repérage de sources possibles.

Des études préalables des schémas de circulation et de transport, réalisées par Henderson Environmental Consulting Ltd. et Coastal Ocean Associates Inc. (Septembre 1999), ont défini des schémas possibles de transport en fonction de la force des marées, ce qui signifie que les conclusions tirées s'appliquent uniquement à des conditions de vents et de vagues calmes. La présente étude vise à évaluer les schémas possibles de transport de substances polluantes pour une gamme élargie de conditions de forçage, au moyen de l'élaboration et de la mise en œuvre d'un modèle regroupant l'hydrodynamique et l'action des vagues, influencées par l'action du vent provenant de multiples directions.

Les données provenant de l'historique et de la simulation rétrospective portant sur la zone côtière près de la baie de Shediac comprennent des stations de marégraphes dans la baie de Shediac et à Cap de Caissie, des bases de données sur les composantes de la marée, ainsi que des simulations rétrospectives des vents et des vagues. Parmi les ensembles de données supplémentaires disponibles, on retrouve des levés bathymétriques effectués par le Service hydrographique du Canada, pour lesquels la résolution spatiale varie selon les secteurs illustrés. Aucune donnée de courantomètre n'était disponible pour le secteur à l'étude.



Figure 1-1 – Stations de marégraphes historiques utilisées pour la validation du modèle

## 1.1 Objectifs de l'étude

L'étude de modélisation de l'hydrodynamique et du transport des substances polluantes pour la plage Parlee et la baie de Shediac tend vers deux principaux objectifs :

1. l'élaboration et la mise en œuvre d'un modèle océanique numérique qui permettra de mieux comprendre les schémas de circulation côtière dans la baie de Shediac et près de la plage Parlee imputables à l'action combinée des marées, des vents et des vagues;
2. la modélisation des trajectoires possibles des substances polluantes et des panaches dissous, en vue de l'examen éventuel des sources.

Les objectifs de l'étude ont été atteints grâce à l'élaboration d'un modèle regroupant les données hydrodynamiques et relatives aux vagues pour la zone côtière aux environs de la baie de Shediac et de la plage Parlee, au moyen de la suite logicielle Delft3D.

## 1.2 Aperçu

Le rapport se divise comme suit. La section 2.0 qui suit offre un résumé de la climatologie relative aux vents et aux vagues dans le secteur à l'étude, sur laquelle sont fondés les scénarios de modélisation. La section 3.0 résume la méthodologie utilisée pour élaborer et valider le modèle hydrodynamique de la zone côtière aux environs de la baie de Shediac au N.-B. Par la suite, les résultats de la modélisation sont présentés dans la section 4.0 qui comprend un aperçu des schémas de la circulation océanique modélisée ainsi que les trajectoires des drogues et des panaches dissous pour une gamme de conditions environnementales de forçage. Pour terminer, les conclusions sont présentées à la section 5.0.

## 2.0 CONDITIONS DE FORÇAGE MÉTÉOCÉAN

La circulation océanique et les schémas de transport dont il est question dans l'étude sont déterminés par l'influence et les interactions de la force des marées (COA, 1999) ainsi que par l'action du vent à la surface de l'océan et, finalement, par les courants que génèrent les vagues dans la zone de déferlement peu profonde. La section qui suit présente des statistiques relatives aux vents et aux vagues provenant de simulations rétrospectives à long terme des vents et des vagues du Service météorologique du Canada (SMC50), lesquelles servent à définir des scénarios de forçage représentatifs et distincts pour le modèle regroupé de données hydrodynamiques et relatives aux vagues, sous l'influence du forçage du vent et des marées. Le nœud M6010119 de la simulation rétrospective SMC50 se trouve à environ 10 km au nord-ouest de la plage Parlee.

La simulation rétrospective SMC50 représente une source fiable de longue date de statistiques régionales sur les vents et les marées, à partir de laquelle le plus récent rapport de trente années disponible (1985-2015) a été utilisé pour tirer des statistiques mensuelles et des fréquences d'occurrence se rapportant à des conditions distinctes de forçage. La présente étude vise à définir la circulation océanique pour un large éventail de conditions fréquentes, en portant une attention particulière aux conditions moyennes au cours des mois d'été, lorsque des problèmes relatifs à la qualité de l'eau risquent de causer des inquiétudes plus marquées aux usagers saisonniers de la plage Parlee.

### 2.1 Statistiques climatiques relatives au vent

Le climat imputable au vent dans le secteur à l'étude se caractérise par un cycle saisonnier distinct dont les vitesses horaires moyennes se situent entre 4,5 et 4,8 m/s entre mai et août et 7,7 à 8,3 m/s entre novembre et janvier (tableau 2-1). Le cycle saisonnier des conditions du vent se reflète également dans la distribution des directions du vent (tableau 2-2 et figure 2-2) : les vents du sud-ouest sont plus fréquents pendant les mois d'été (de juin à août), alors que les vents du nord-ouest sont plus fréquents pendant les mois d'hiver et au début du printemps (de décembre à avril).

Bien que l'on constate une fréquence marquée des vents du sud-ouest pendant les mois d'été (c.-à-d. de 21 % à 29 % du temps entre juin et septembre), les vents du sud (de 16,5 % à 25,9 %) et de l'ouest (de 12,1 % à 18,4 %) sont également très fréquents au cours de ces mêmes mois, suivis des vents du nord-ouest et du sud-est. En comparaison, les vents du nord, du nord-est et de l'est sont relativement moins fréquents, se manifestant moins de 10 % du temps pendant ces mêmes mois.

Afin de représenter des conditions moyennes applicables la plupart du temps dans le secteur à l'étude, la valeur de vitesse moyenne annuelle du vent de 6 m/s a été choisie pour l'établissement des scénarios modèles, conjugués avec huit directions distinctes du vent s'étendant à l'ensemble de la gamme.

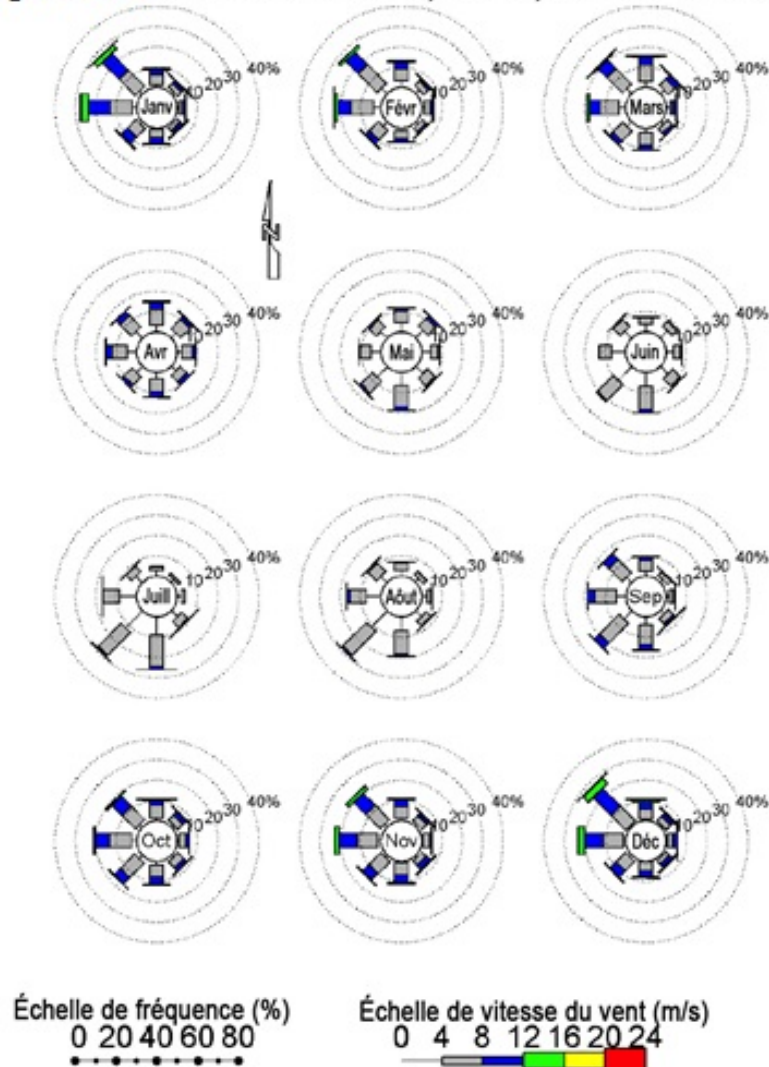
**Tableau 2-1 – Statistiques mensuelles sur les vents pour le nœud M6010119 du SMC50 (1985-2015) près de la baie de Shediac**

Mois	Jan	Févr	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
<b>Vitesse moyenne du vent (m/s)</b>	7,9	6,8	6,5	5,9	4,8	4,5	4,5	4,7	5,8	7	7,7	8,3	6,2
<b>Vitesse standard du vent (m/s)</b>	3,1	3	2,9	2,7	2,3	2,1	1,9	2,1	2,4	2,7	2,9	3	2,9
<b>Direction de provenance la plus fréquente</b>	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	S.	S.-O.	S.-O.	S.-O.	S.-O.	O.	O.	N.-O.	O.
<b>Vitesse max. à l'heure (m/s)</b>	21,7	20,2	21,7	19,3	16,3	13,1	21,8	19,8	21	22	19,9	21,8	22
<b>Direction de provenance de la vitesse horaire max.</b>	N.-O.	O.	N.-E.	O.	S.-E.	S.	O.	S.	S.-E.	N.	N.-O.	N.	N.

**Tableau 2-2 – Distribution des fréquences mensuelles sur la direction des vents provenant de la simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac**

Direction du vent	N.	N.-E.	E.	S.-E.	S.	S.-O.	O.	N.-O.
<b>Janvier</b>	9,2	6,1	4,2	5,2	8,1	12,2	27,4	27,5
<b>Février</b>	13	7,1	6	5	7,1	12,1	22,7	27
<b>Mars</b>	15,6	9,9	5	6,3	11	12,6	18,6	20,9
<b>Avril</b>	15	11,9	9,2	9,7	12,2	11,5	15,1	15,4
<b>Mai</b>	11,6	12,4	8,8	11,1	18,8	16,3	10,7	10,5
<b>Juin</b>	7,4	8,8	7,8	11,5	19,8	21,4	13,1	10,3
<b>Juillet</b>	4,6	3,1	4	8,9	25,9	28,7	16,4	8,4
<b>Août</b>	6,9	4,6	5,1	7,4	19,5	28,6	16,7	11,1
<b>Septembre</b>	9,6	4,6	4,3	7,2	16,5	22,9	18,4	16,6
<b>Octobre</b>	10,2	7,5	6	7,8	11,9	16,8	21	18,8
<b>Novembre</b>	10,9	6,6	5,2	7,1	11,2	14,5	22,6	22,1
<b>Décembre</b>	10,3	6,9	5,6	5,8	8,2	12,3	23,5	27,5
<b>Année</b>	10,3	7,4	5,9	7,8	14,2	17,5	18,8	18

**Site: Plage Parlee. MSC50 #M6010119, 46.3N , -64.4W. Ans : 1985 - 2015**



**Figure 2-1 – Distribution mensuelle sur la direction des vents provenant du nœud de simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac**



## 2.2 Statistiques climatiques relatives aux vagues

Le climat imputable aux vagues dans le secteur à l'étude se caractérise par des moyennes de hauteurs de vagues relativement faibles, se situant de 0,1 m en février à 0,6 m en novembre et 0,2 m de juin à août (tableau 2-3). Les états de la mer les plus violents qui se produisent plutôt rarement présentent des hauteurs de vagues assez importantes allant jusqu'à 2,6 m pour une durée type pouvant atteindre 6,2 s. Par conséquent, le secteur à l'étude est soumis à un forçage par les vagues relativement faible à partir de la zone extracôtière dans le détroit du Northumberland et on s'attend à ce que les vagues générées localement par le vent jouent un rôle important dans la détermination des conditions locales des vagues dans la baie de Shediac et aux environs de la plage Parlee.

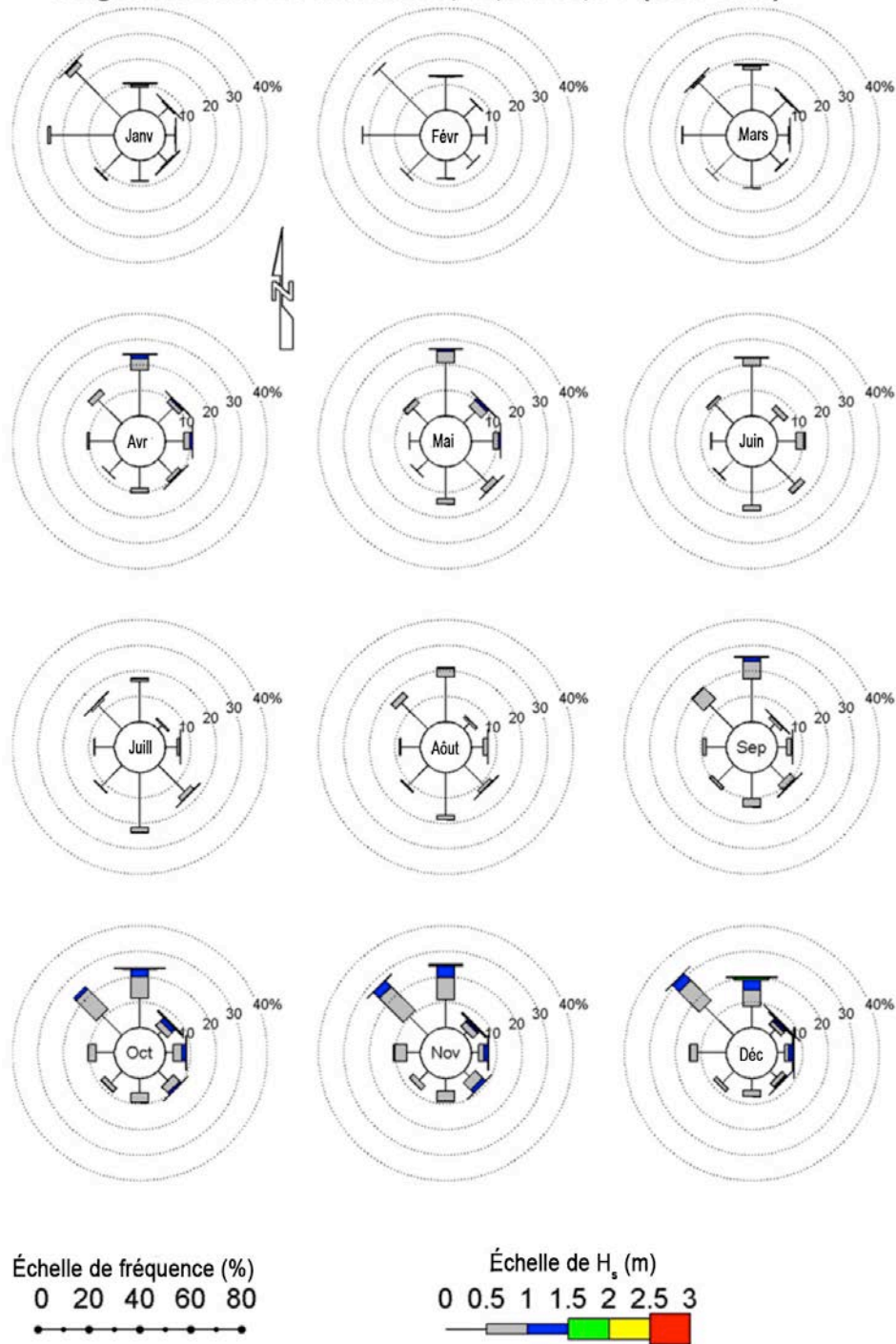
La vague incidente au nœud de simulation rétrospective dans la zone extracôtière de la plage Parlee provient le plus souvent du nord pendant les mois d'avril à septembre et du nord-ouest d'octobre à mars, à l'exception du mois de juillet, lorsqu'elle provient le plus souvent du sud. Par ailleurs on remarque fréquemment des vagues provenant du sud-est et du sud pendant les mois d'été (figure 2-2).

Pour illustrer les conditions saisonnières moyennes applicables la plupart du temps dans le secteur à l'étude, on a choisi, pour établir les scénarios du modèle, la valeur de hauteur significative de vague de 0,3 m, conjuguée à une période de vagues de 4 s et à des directions de vagues qui sont alignées avec le vent ou qui représentent la direction la plus fréquente.

**Tableau 2-3 – Statistiques mensuelles sur les vagues pour le nœud M6010119 du SMC50 (1985-2015) près de la baie de Shediac**

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
<b>SWH moyenne (m)</b>	0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,3
<b>SWH standard (m)]</b>	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
<b>Direction de provenance la plus fréquente</b>	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.	N.	N.	S.	N.	N.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.
<b>Tp moyenne (s)</b>	0,4	0,1	0,4	1,6	2,3	2,1	2	2,2	2,8	3,4	3,6	2,6	2
<b>SWH max. (m)</b>	1,7	1,7	2,5	1,9	1,8	1,5	2	1,7	2,3	2,6	2,3	2,6	2,6
<b>Direction de provenance SWH max. depuis</b>	S.-E.	N.	N.-E.	N.	E.	N.	S.-E.	S.-E.	E.	N.	N.	N.	N.
<b>Tp de la Hsig max. (s)</b>	5,5	5,3	5,7	5,5	5,5	5,1	5,9	5,3	6,1	6,2	6	6,2	6,2
<b>Tp max. (s)</b>	6,4	5,4	6,4	7,6	11,8	6,9	6,6	6,7	7,7	6,3	6,1	6,3	11,8

**Plage Parlee MSC50 #M6010119, 46,3 N 64,4 O (1985-2015)**



**Figure 2-2 – Distribution mensuelle sur la direction des vagues provenant de la simulation rétrospective du SMC50 près de la baie de Shediac**

### 3.0 MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION

Amec Foster Wheeler a élaboré un modèle regroupant les données hydrodynamiques et relatives aux vagues de l'océan le long de la côte comprenant la baie de Shediac et les zones côtières à l'est et au nord, y compris la plage Parlee, au moyen de la suite du logiciel Delft3D de Deltares. La suite Delft3D comprend un ensemble de modules hautement intégrés servant à calculer les niveaux d'eau et les courants marins au moyen des équations pour les eaux peu profondes, ainsi qu'à utiliser les équations advection-diffusion pour le calcul des traceurs particuliers ou dissous. Le modèle hydrodynamique est combiné au modèle spectral de vagues de troisième génération SWAN (Simulating Waves in the Nearshore) qui offre la possibilité de simuler les conditions locales de vagues imputables à une combinaison de vagues incidentes au large et de vagues provoquées localement par les vents, ainsi que pour appliquer des conditions de forçage par les vagues au modèle hydrodynamique. Ces caractéristiques font de la suite Delft3D une plateforme idéale pour l'étude des eaux côtières relativement au transport potentiel des substances polluantes dans des conditions idéalisées ou historiques, ce qui permettrait d'appuyer l'examen de sources pertinentes de contamination pour une région géographique donnée.

#### 3.1 Préparation du modèle hydrodynamique et de la modélisation de vague au moyen du logiciel Delft3D

La conception du modèle hydrodynamique Delft3D tient compte, d'une part, des éléments complexes du littoral et de la circulation marine à l'intérieur et aux alentours de la baie de Shediac, lesquels sont caractérisés par de vastes zones dont la profondeur n'excède pas 2 m et, d'autre part, des schémas de propagation des différents éléments de la marée dans le détroit du Northumberland. La circulation dans cette zone est guidée par l'interaction d'un forçage par la marée et les vents relativement faibles sur une zone côtière relativement peu profonde. Afin de factoriser les schémas de circulation qui en découlent, le domaine du modèle a été élargi pour inclure la zone côtière s'étendant à environ 15 km à l'est et 10 km au nord de la baie de Shediac. Le domaine a également été élargi pour inclure la zone extracôtière sur environ 10 km (figure 3-1). La grille informatique du modèle de vagues chevauche largement la grille du modèle hydrodynamique et on y a ajouté une étendue d'environ 10 km vers le nord et vers l'est afin de permettre une couverture continue des conditions de vagues pour le modèle hydrodynamique.

Afin de capturer la complexité des caractéristiques des eaux côtières, ainsi que pour optimiser l'efficacité computationnelle, on a élaboré une grille curviligne dotée d'une résolution horizontale variable se situant entre 100 et 200 m dans les zones extracôtières plus profondes et entre 40 et 60 m dans la baie de Shediac et aux environs de la plage Parlee (figure 3-2).

La bathymétrie et la topographie du modèle ont été élaborées en tenant compte de plusieurs sources, notamment :

1. Service hydrographique du Canada : ensembles de données bathymétriques multifaisceaux à haute résolution, combinés à des ensembles de données à faisceau unique à résolution intermédiaire et inférieure. Les ensembles de données bathymétriques multifaisceaux ont été considérés comme étant de la plus haute qualité et ont été utilisés préférentiellement dans les zones dont la couverture était relativement limitée, principalement dans la zone située au sud-est de l'île de Shediac.
2. Service hydrographique du Canada : cartes électroniques de navigation en format vectoriel S57. Ces ensembles de données ont été considérés comme offrant la meilleure représentation des contours délimitant la côte et l'étendue des platins peu profonds, pour lesquels les données d'enquête étaient plus rares. On a appliqué à ces zones une interpolation ponctuelle largement fondée sur les contours des cartes de navigation.
3. USGS: modèle altimétrique numérique (MAN) à 30 m de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), utilisé pour englober les zones terrestres et pour fournir une base plus solide en vue d'une interpolation triangulaire le long des zones côtières.

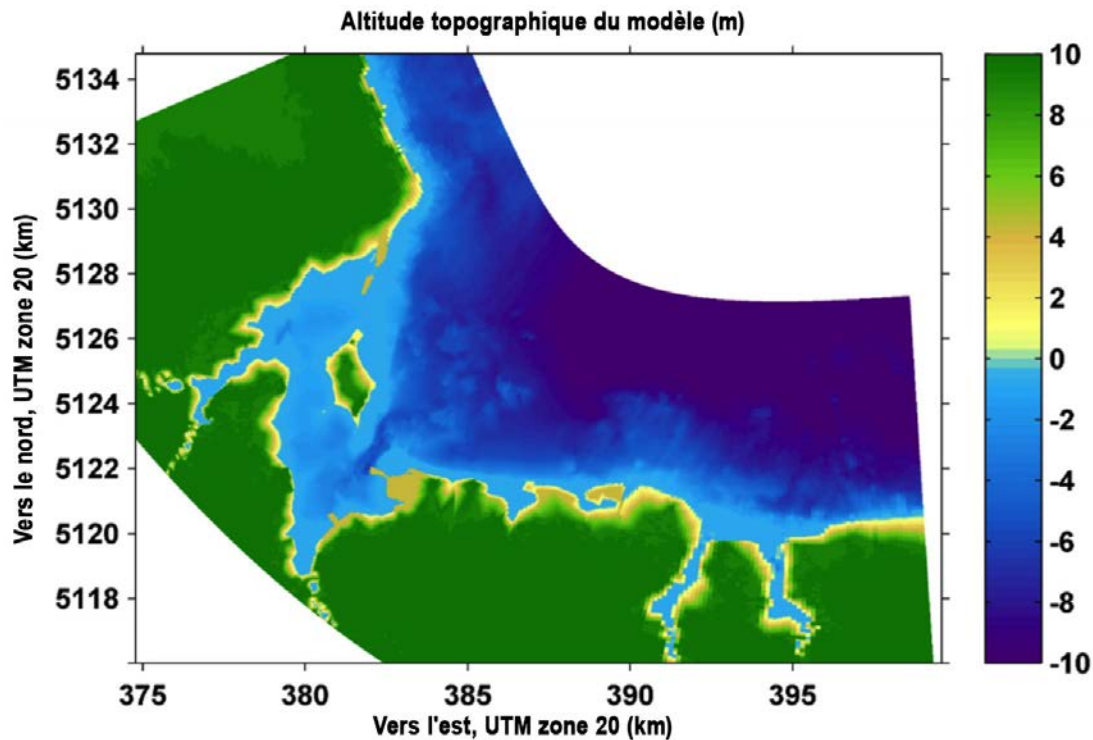


Figure 3-1 – Élévation du lit selon le modèle hydrodynamique Delft3D

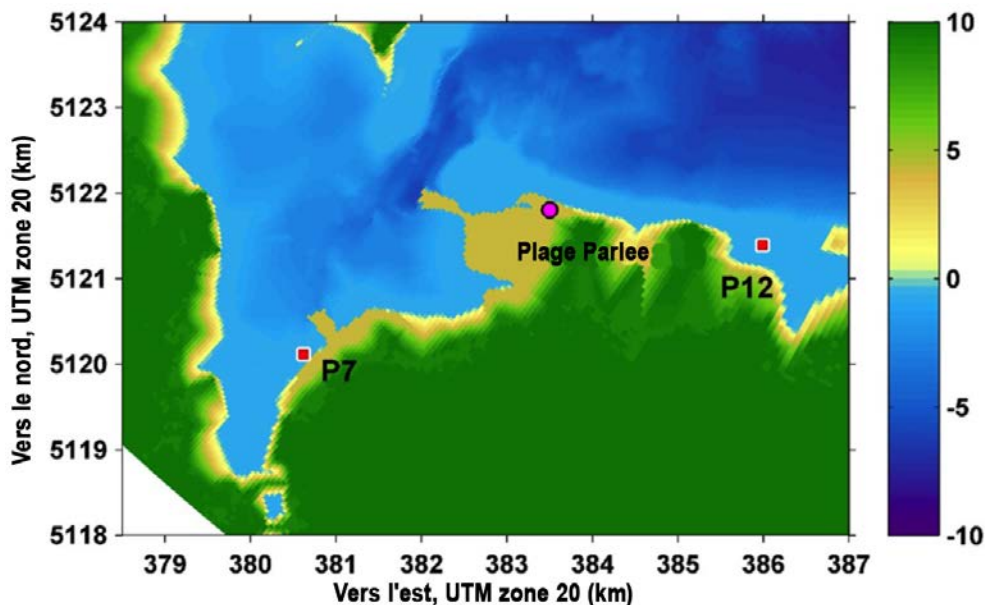


Figure 3-2 – Élévation du lit selon le modèle hydrodynamique Delft3D dans les environs de la plage Parlee et de la partie sud de Shediac. Les carrés rouges indiquent l'emplacement des deux sources hypothétiques de substances polluantes dissoutes.

On a appliqué aux trois limites ouvertes du modèle hydrodynamique des conditions de forçage fondées sur les limites supérieures des eaux de marée, soit des conditions harmoniques de niveau de la marée pour la limite extracôtière et un gradient harmonique du niveau d'eau (Neumann) pour les deux limites latérales au nord et à l'est du domaine du modèle. Les composantes astronomiques de la marée pour les conditions aux limites ont été dérivées du modèle WebTide (grille Atlantique du Nord-ouest) par Dupont et coll. (2002). On a également tenu compte dans le modèle du débit d'eau douce relativement mineur fondé sur l'écoulement par temps sec (COA, 1999) provenant de la rivière Shediac ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et de la rivière Scoudouc ( $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

On a fait fonctionner le modèle pendant des périodes d'une semaine pour tous les cas, afin de lui accorder une période d'augmentation graduelle de la solution mathématique dans des conditions de forçage atmosphérique, avant le largage de drogues (illustration par ordinateur du trajet d'un cours d'eau pendant une simulation) ou de polluants dissous. Le modèle a été établi en mode de profondeur moyenne, tenant compte d'une couche de mélange verticale parfaitement homogène, en utilisant une eau de mer aux propriétés standard et un intervalle fondé sur les limites d'advection horizontale de 0,5 minute.

### 3.2 Validation de la modélisation des marées au moyen du logiciel Delft3D

Le rendement du modèle hydrodynamique a été évalué en fonction des ensembles de données historiques de marégraphes à deux stations de la base de données sur les marées, courants et niveaux d'eau de Pêches et Océans Canada.

- Baie de Shediac (station 1805)
- Cap de Caissie (station 1810)

La comparaison entre les niveaux d'eau modélisés et observés a été établie en fonction de composantes dérivées d'une analyse harmonique des marées historiques et des résultats obtenus dans le modèle aux emplacements donnés. L'analyse harmonique des marées a été effectuée au moyen du coffre à outils UTide du logiciel Matlab de Codiga (2011) pour les trois principales composantes représentant environ 97 % de la variabilité des marées : M2, K1 et O1.

La comparaison entre les composantes harmoniques de la marée observées et modélisées (figurant au tableau 3-1) révèle que le modèle traduit bien la propagation de la marée, indiquant avec régularité des correspondances adéquates entre le modèle et les observations, tant en ce qui a trait à l'amplitude de la marée qu'aux phases de celle-ci. Bien qu'aucune donnée sur les courants d'eau n'ait été disponible pour une validation plus approfondie par rapport au site spécifique, ces résultats indiquent que le modèle saisit adéquatement les dynamiques du système et ils permettent de valider la disposition de la grille informatique, la qualité globale des données bathymétriques, ainsi que le choix et la mise en œuvre des conditions aux limites.



**Tableau 3-1 – Comparaison des données observées et modélisées relatives aux composantes de la marée près de la baie de Shediac au N.-B.**

<b>Baie de Shediac</b>			
<b>Composante</b>	<b>M2</b>	<b>K1</b>	<b>O1</b>
Modèle d'amplitude (m)	0,175	0,231	0,235
Amplitude observée (m)	0,186	0,229	0,235
<b>Différence d'amplitude (m)</b>	<b>-0,010</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>
Modèle de phase (deg.)	37,134	318,725	286,888
Phase observée (deg.)	62,240	337,169	285,475
<b>Différence de phase (deg.)</b>	<b>-25,105</b>	<b>-18,444</b>	<b>1,413</b>
<b>Cap de Caissie</b>			
<b>Composante</b>	<b>M2</b>	<b>K1</b>	<b>O1</b>
Modèle d'amplitude (m)	0,145	0,227	0,231
Amplitude observée (m)	0,134	0,188	0,227
<b>Différence d'amplitude (m)</b>	<b>0,011</b>	<b>0,039</b>	<b>0,004</b>
Modèle de phase (deg.)	28,562	316,674	285,015
Phase observée (deg.)	51,735	314,915	283,188
<b>Différence de phase (deg.)</b>	<b>-23,173</b>	<b>1,759</b>	<b>1,826</b>

### 3.3 Définitions du scénario relatif au modèle

Afin de caractériser la gamme la plus large de conditions moyennes contribuant au transport dans la baie de Shediac et les environs de la plage Parlee, on a défini huit scénarios de forçage atmosphérique distincts, en combinaison avec les conditions de forçage par la marée résumées au tableau 3-2. Comme la moyenne de hauteur des vagues incidentes provenant de la zone extracôtière est relativement faible, on s'attend à ce que les propriétés des vagues provoquées par les vents locaux contribuent de manière importante à la circulation dans la zone de déferlement; les scénarios sont donc définis principalement de manière à englober la gamme complète de directions du vent à des intervalles de 45 degrés.

Dans tous les cas, la condition de vague de la zone extracôtière a été prescrite aux limites extérieures du modèle, mais on a permis au modèle de vagues de développer des vagues selon les paramètres d'une mer entièrement levée, en fonction de l'aire de génération de la houle disponible pour la direction donnée du vent. Dans la plupart des cas, la direction des vagues a été prescrite de manière à généralement s'aligner avec les vents, sauf lorsque ceux-ci provenaient de la direction de la terre ferme (sud-ouest et sud), alors que des vagues provenant de la zone extracôtière ont été prescrites comme provenant du nord, soit la direction de vague extracôtière la plus fréquente.

**Tableau 3-2 – Résumé des scénarios modélisés de dispersion hypothétique des polluants près de la plage Parlee au N.-B.**

Scénarios modélisés		
N° de scénario	Conditions de vent	Conditions des vagues extracôtières
1. Vents du nord-ouest	6 m/s à 315°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 315°
2. Vents de l'ouest	6 m/s à 270°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 315°
3. Vents du sud-ouest	6 m/s de 225°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 0°
4. Vents du sud	6 m/s à 180°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 0°
5. Vents du sud-est	6 m/s à 135°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 90°
6. Vents de l'est	6 m/s à 90°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 90°
7. Vents du nord-est	6 m/s à 45°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 45°
8. Vents du nord	6 m/s à 0°	Hsig = 0,3 m, Tp = 4 s, dir. = 0°

Comme la présente étude tient compte du déversement hypothétiques de polluants dissous et du largage de drogues pour un large éventail de conditions possibles, les huit scénarios ont été modélisés selon des conditions de vent et de vague constantes sur une période d'une semaine suivant le déversement des polluants, afin d'évaluer les schémas distincts d'advection et de dispersion pour chacune des conditions définies. Cependant, on remarque que, pour toute période historique donnée, les conditions observées sur plusieurs jours risquent de varier et de produire une combinaison des schémas distincts déterminés dans la présente étude.

Les polluants hypothétiques ont été déversées à deux emplacements, soit à environ 3,5 km à l'est de la plage Parlee et à environ 3,5 km au sud-ouest de la plage Parlee (dans la zone la plus au sud de la baie de Shediac). Les deux sources polluantes étaient distinctes pour chacune des sources et ont été suivies séparément, selon un déversement sur 24 heures, à une vitesse d'écoulement de 0,01 m<sup>3</sup>/s et à des concentrations nominales de 1 kg/m<sup>3</sup>. Les sources polluantes utilisées étaient non biodégradables, sans dégradation, donc la diminution des concentrations sur les quelques jours est imputable uniquement à la dispersion physique à l'intérieur du modèle.

En plus des sources de polluantes hypothétiques, trois séries de 25 drogues ont été larguées à trois moments distincts (heures 0, 6 et 12) au cours du 8<sup>e</sup> jour de la simulation.

## 4.0 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

Le modèle Delft3D a fonctionné pendant une période de deux semaines, la première correspondant à la période de mise en place du modèle. Les sources polluantes et les drogues ont été larguées au jour 8 des simulations. Les résultats du modèle ont été enregistrés à des intervalles d'une heure pour la grille complète, ainsi qu'à des intervalles de 10 minutes à la plage Parlee. Les résultats résumés dans la présente section comprennent des descriptions de la circulation résiduelle constatée, ainsi que les schémas de transport des drogues et des panaches, et les concentrations nominales relatives prévues à la plage Parlee pour chacun des huit scénarios modélisés.

Des cartes indiquant les magnitudes et les directions des courants résiduels produits par l'inclusion des conditions de forçage par le vent et les vagues sont présentées à l'annexe A. Des cartes des concentrations maximales composées de substances polluantes modélisées sur 48 heures se trouvent à l'annexe B, et les trajectoires des drogues suivies sur 24 heures figurent à l'annexe C. La section suivante résume les schémas généraux déterminés à partir des huit scénarios modélisés.

### 4.1 Schémas de circulation modélisés

Les schémas de circulation dans la baie de Shediac ont été évalués en tenant compte de courants résiduels moyens sur 24 heures pour les huit scénarios de dispersion, ainsi que dans le cadre d'un scénario de base fondé exclusivement sur le forçage par les vagues. Les courants produits par les marées seules (figure 4-1) sont relativement faibles, comme l'indiquent des vitesses locales à la plage Parlee de 5 cm/s ou moins, avec une direction prédominante vers l'ouest. Les asymétries des courants de marée à différentes étapes de la marée produisent également des courants résiduels faibles à l'intérieur de la baie de Shediac, avec des courants d'eau vers l'intérieur de la baie au sud de l'île Shediac et vers l'extérieur de la baie au nord de l'île.

Les résultats des scénarios soumis à des conditions de forçage par les vents et les vagues (annexe A) indiquent que des schémas de circulation distincts et persistants sont susceptibles de se développer en raison de forçage non lié aux marées et largement imputable à la direction du vent dans les conditions locales à l'intérieur de la baie de Shediac et à la plage Parlee. Plus particulièrement, on prédit la formation de courants côtiers résiduels relativement forts (de 10 à 15 cm/s) le long de la côte à la plage Parlee (ainsi que dans des zones peu profondes plus au nord à l'île Shediac et dans le nord du domaine), qui prendront le dessus sur les courants de marée à toutes les étapes du forçage par la marée. Les résultats indiquent également qu'en raison de la géométrie en L du littoral au nord et à l'est de la baie de Shediac, les schémas de circulation peuvent parfois converger ou diverger depuis le chenal au sud de la baie de Shediac, provoquant une variation de l'efficacité dans le transport des substances polluantes à partir de la partie sud de la baie de Shediac vers la zone côtière de la plage Parlee.

Les courants résiduels de la zone de déferlement côtière à la plage Parlee ont démontré une tendance vers l'est lorsque les vents proviennent du nord, du nord-ouest, de l'ouest et du sud-ouest. Par contre, les courants résiduels côtiers sont prévus se diriger vers l'ouest lorsque soumis à des vents provenant du sud, du sud-est, de l'est et du nord-est. Il importe de noter que l'on prévoit que les deux directions du vent les plus fréquentes au cours des mois d'été, soit sud-ouest et sud, entraîneront les courants résiduels à la plage Parlee dans des directions opposées, et avec des magnitudes relativement plus faibles que celles déterminées dans la plupart des autres scénarios (plage de 10 à 15 cm/s). Toutefois, étant donné que les vents provenant d'autres directions relativement fréquentes (c.-à-d. de l'ouest et du nord-ouest) produisent des courants côtiers relativement plus forts, une analyse future de toute période historique devrait tenir compte de la gamme complète des conditions et de leur variabilité au cours des heures et des jours précédant le moment d'intérêt où les concentrations de substances polluantes sont mesurées.



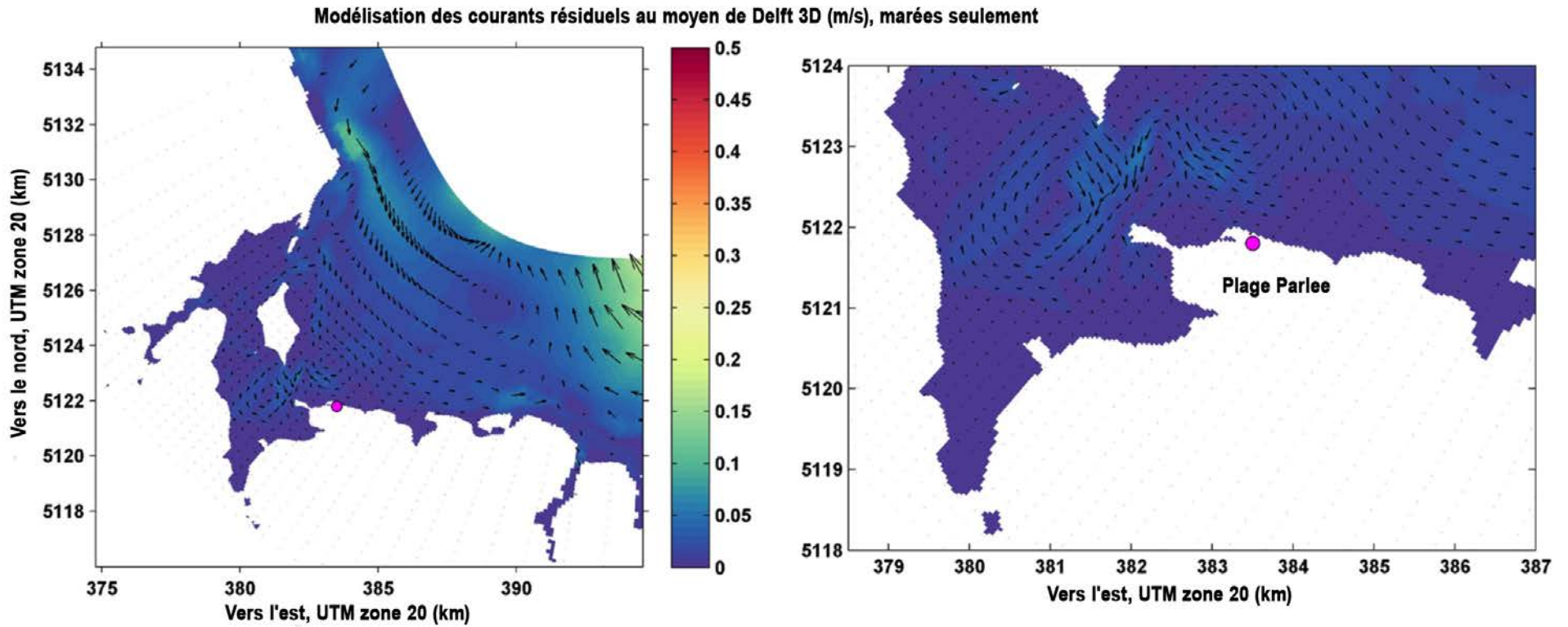


Figure 4-1 – Courants résiduels modélisés soumis à un forçage par la marée seulement; moyenne calculée sur un cycle diurne complet

#### **4.2 Schémas hypothétiques du transport des sources polluantes près de la plage Parlee**

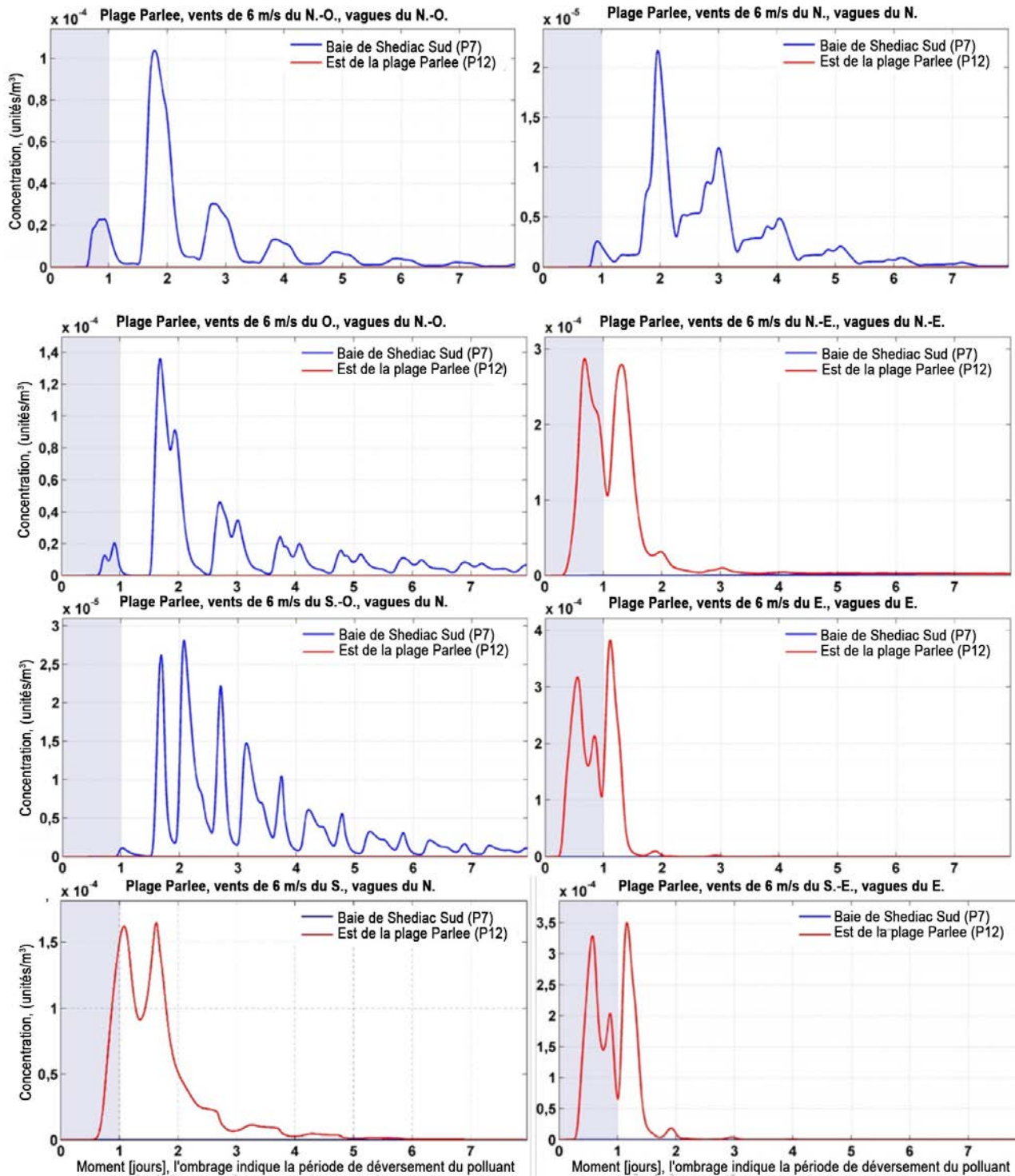
Les modèles de schémas du transport des polluants (annexe B) et des trajectoires des drogues (annexe C) reflètent généralement les tendances déterminées dans les schémas de circulation résiduelle. En tenant compte des sources possibles de substances polluantes à être observées à la plage Parlee, il apparaît que les huit scénarios de forçage pris en compte dans la présente étude ont produit des marques d'action de sources distinctes à la plage Parlee, indiquant que la source dans la baie de Shediac (étiquette P7) ou la source à l'est de la plage Parlee (étiquette P12) contribue aux concentrations de polluants à la plage Parlee (voir la figure 4-2). Comme l'indiquent les cartes de courants résiduels et les trajectoires des drogues, le flux dans la zone située à l'ouest de la plage Parlee et l'échange avec la baie de Shediac démontrent des schémas complexes malgré les scénarios de forçage relativement contraints utilisés dans la présente étude. Selon les schémas généraux de circulation et la force relative des courants côtiers de la zone de déferlement près de la plage Parlee et la circulation vers l'extérieur du chenal au sud de l'île Shediac, on dénote une gamme de résultats et de trajectoires possibles de substances d'advection provenant de l'intérieur de la baie de Shediac.

Indépendamment des complexités relatives à la circulation côtière locale, les résultats indiquent que, dans les scénarios présentant des conditions de forçage par le vent (et les vagues) provenant de directions distinctes, les polluants ayant leur origine dans la baie de Shediac seraient détectés à la plage Parlee dans le cas de vents du nord-ouest, de l'ouest, du sud-ouest et du nord; dans tous les autres scénarios, les sources à l'est de la plage Parlee seraient dominantes. Les résultats de la modélisation indiquent également que les sources à l'est de la plage Parlee occasionneraient un transport plus rapide des polluants provenant de sources à des distances comparables, avec des concentrations maximales parvenant à la plage Parlee en moins d'un jour à compter du début du déversement, alors que les substances provenant de la source située à l'intérieur de la baie de Shediac nécessiteraient 1,5 à 2 jours pour atteindre la plage Parlee. On remarque également que, dans le cas de sources d'intensité comparable, les concentrations des polluants du modèle à la plage Parlee s'avèrent environ dix fois plus élevées pour les sources à l'est de la plage Parlee, en raison du sens direct du transport dans les courants en « tapis roulant » de la zone de déferlement le long de la côte. En comparaison, les schémas de circulation dans le sud de la baie de Shediac sont relativement plus complexes, présentant des taux considérablement plus élevés de dispersion physique et de dilution au cours du processus de transport.

Les résultats du modèle suggèrent également que le transport résiduel de toute substance polluante dissoute (dans l'une ou l'autre direction) est modulé par l'influence des marées, donc une source polluante donnée peut présenter plusieurs pics de concentration (diminuant avec le temps), au même endroit pendant plusieurs jours. Toutefois, l'interprétation des présents résultats doit également tenir compte du fait qu'aucune dégradation de substance polluante n'a été prescrite dans le cadre du présent modèle et qu'en réalité, la concentration bactérienne absolue attendue à un endroit précis sera fortement influencée par le moment du déversement, ainsi que par les taux réels de dégradation.

**Tableau 4-1 – Résumé des schémas modélisés de dispersion hypothétique de sources polluantes près de la plage Parlee au N.-B.**

Scénarios modélisés		
N° de scénario	Transport dominant Direction à Parlee	Sources dominantes de pollution à la plage Parlee (vers)0
1. Vents du nord-ouest	Est	Baie de Shediac Sud (P7)
2. Vents de l'ouest	Est	Baie de Shediac Sud (P7)
3. Vents du sud-ouest	Est	Baie de Shediac Sud (P7)
4. Vents du sud	Ouest	Est de la plage Parlee (P12)
5. Vents du sud-est	Ouest	Est de la plage Parlee (P12)
6. Vents de l'est	Ouest	Est de la plage Parlee (P12)
7. Vents du nord-est	Ouest	Est de la plage Parlee (P12)
8. Vents du nord	Est	Baie de Shediac Sud (P7)



**Figure 4-2 – Modélisation des concentrations de sources polluantes (unités nominales) à la plage Parlee pour les huit modèles de vents présentés**

## 5.0 CONCLUSIONS

Amec Foster Wheeler a élaboré un modèle à haute résolution de données hydrodynamiques et relatives aux vagues de la zone entourant la baie de Shediac et la plage Parlee à l'aide de la suite logicielle Delft3D. L'objectif de la présente étude de modélisation était de créer un modèle capable d'évaluer les schémas de circulation et de transport près de la côte de la plage Parlee, en vue d'aider le ministère de la Santé du Nouveau-Brunswick à déterminer comment sont transportées les bactéries dans l'environnement côtier et ainsi contribuer au repérage de sources possibles.

À cette fin, la présente étude évalue les schémas de circulation et de transport sous l'influence des marées astronomiques conjuguées à des conditions de forçage par le vent provenant de huit directions distinctes. Les schémas modélisés de transport de sources polluantes et de drogues, de concert avec les statistiques climatiques de longue date relatives au vent et aux vagues provenant de la simulation rétrospective du Service météorologique du Canada, peuvent, de manière générale, servir à évaluer les sources possibles de bactéries observées à la plage Parlee. La présente étude indique que l'on peut s'attendre à ce que les conditions de forçage par le vent les plus fréquentes au cours des mois d'été, soit du sud-ouest et d'une large part de l'ouest, produisent des schémas de circulation pouvant transporter de manière efficace des substances polluantes provenant du sud de la baie de Shediac vers la plage Parlee sur une période de 1,5 à 2 jours.

En revanche, on prévoit que des vents du sud relativement fréquents produiront des courants résiduels vers l'ouest dans la zone côtière près de la plage Parlee, mais l'on s'attend à ce que les conditions réelles de transport à tout moment donné soient influencées par les conditions se produisant dans les heures et les jours précédents. Les résultats du modèle indiquent que les conditions relativement moins fréquentes produisant des conditions de transport vers l'ouest à la plage Parlee peuvent s'avérer relativement plus efficaces pour le transport des substances polluantes provenant de toute source hypothétique à l'est de la plage Parlee, ce qui se traduirait par une arrivée plus rapide à compter du moment du déversement (moins de 24 heures) et par des concentrations relativement plus élevées (pour une source d'intensité équivalente) comparativement aux sources dans la baie de Shediac.

## 6.0 BIBLIOGRAPHIE

Coastal Ocean Associates Inc. (COA). *Initial Oceanographic Assessment of Currents and Exchange in Shediac Bay*, rapport préparé pour Henderson Environmental Consulting Ltd, septembre 1999.

CODIGA, D. L. *Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions*, rapport technique 2011-01, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI, 59 pages, 2011.

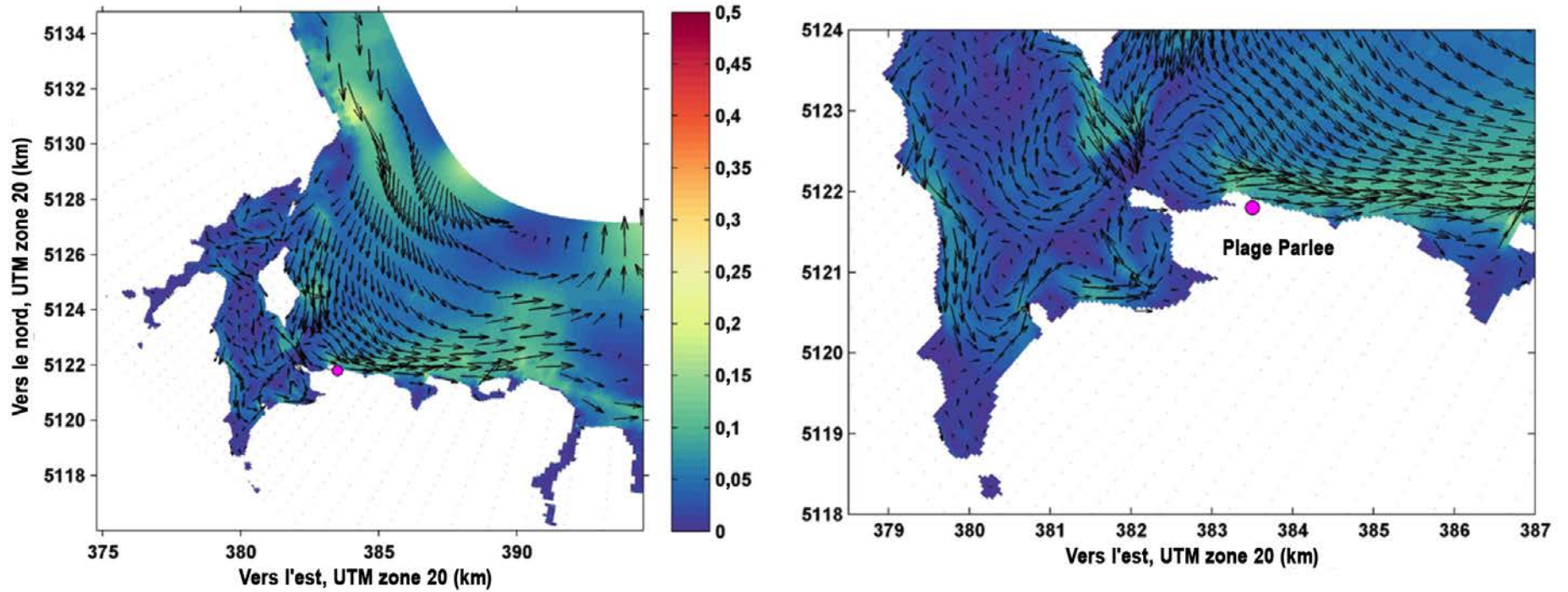
DUPONT, F., C. G. Hannah, D. A. Greenberg, J. Y. Cherniawsky et C. E. Naimie. « Modelling System for Tides », *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.*, vol. 221, n° vii (2002), 72 pages.

## ANNEXE A

### **Cartes de modélisation des magnitudes et des directions résiduelles des courants indépendants des marées pour huit scénarios de forçage atmosphérique**

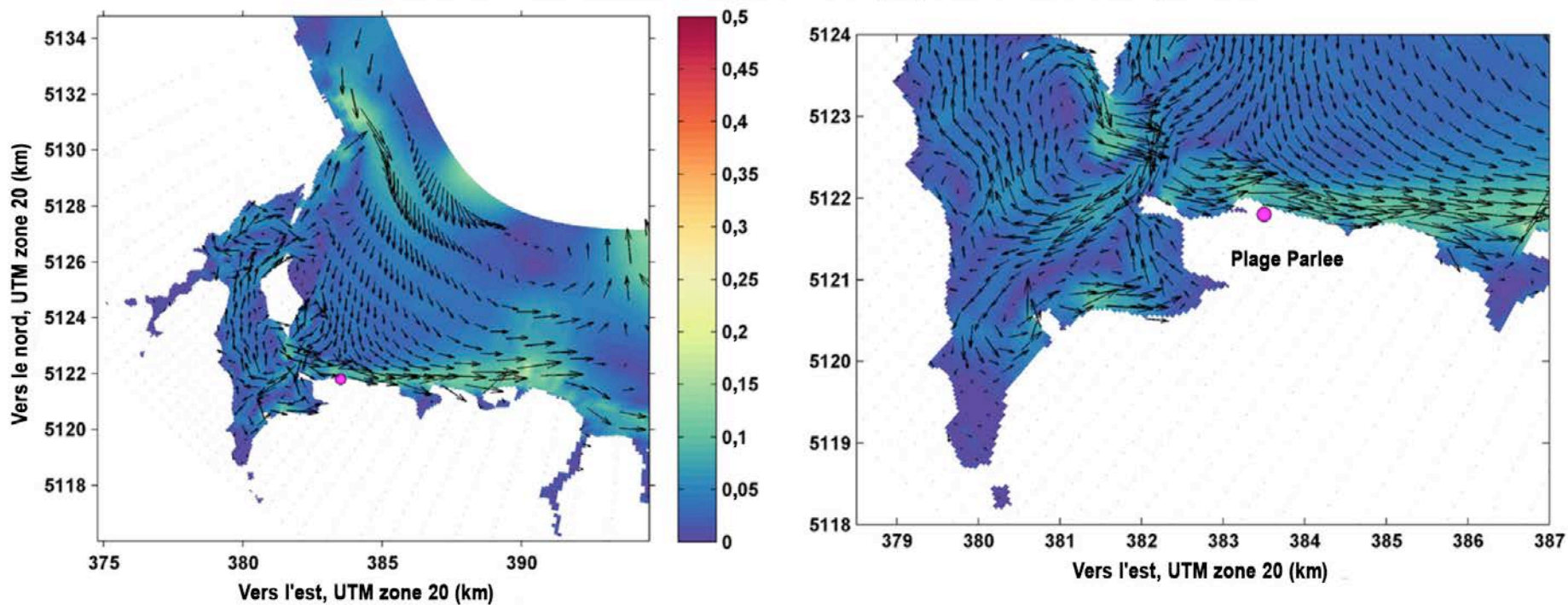


Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du N.-O., vagues du N.-O.

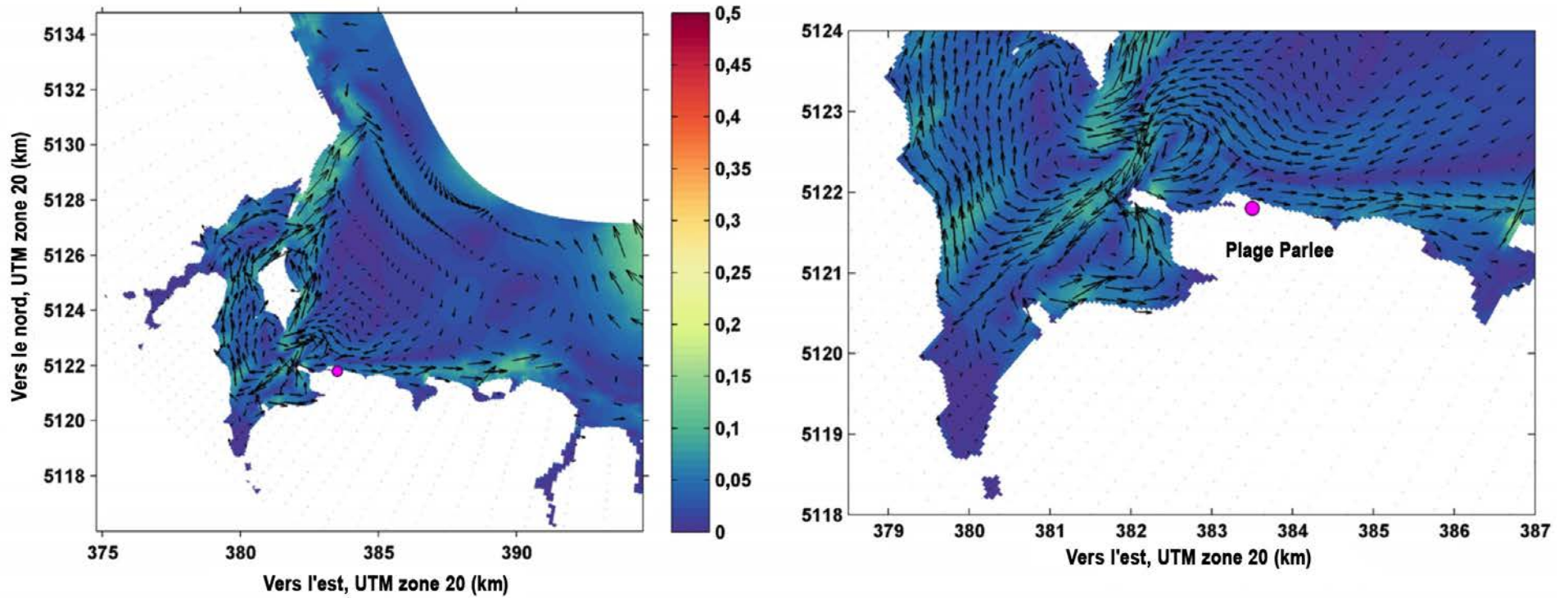




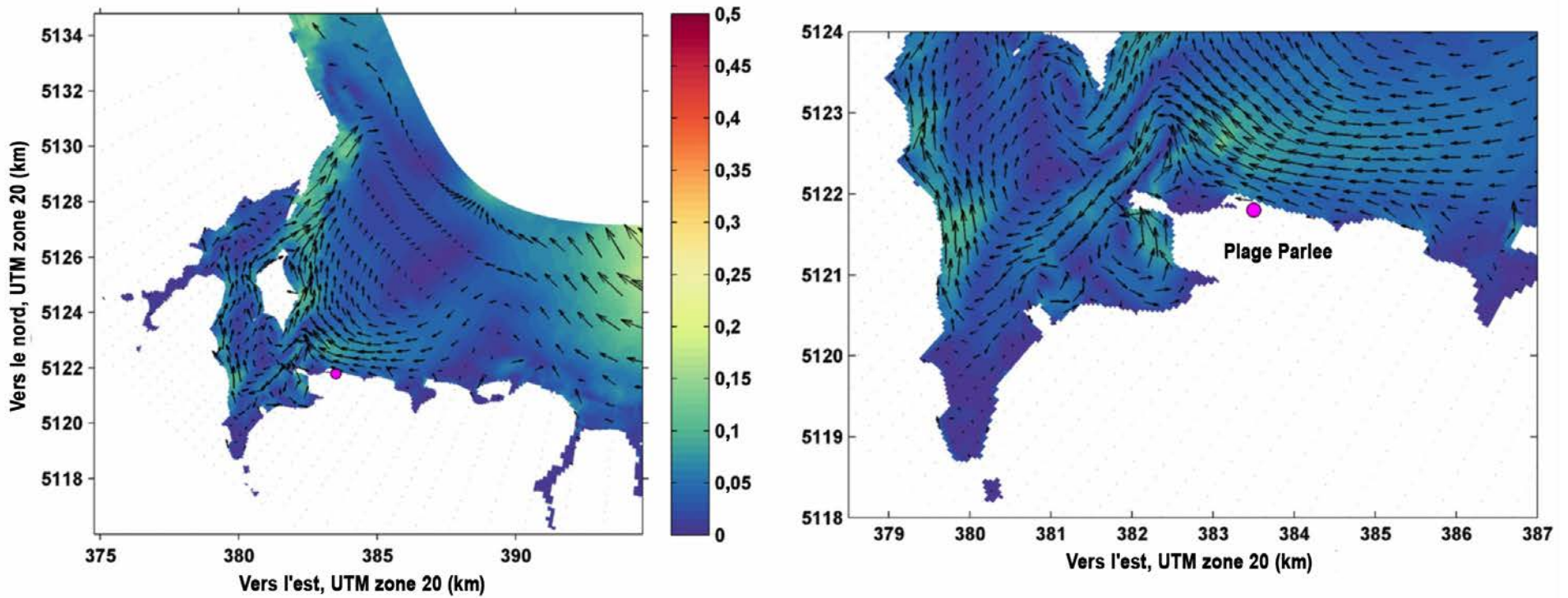
Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s de l'O., vagues du N.-O.



Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du S.-O., vagues du N.

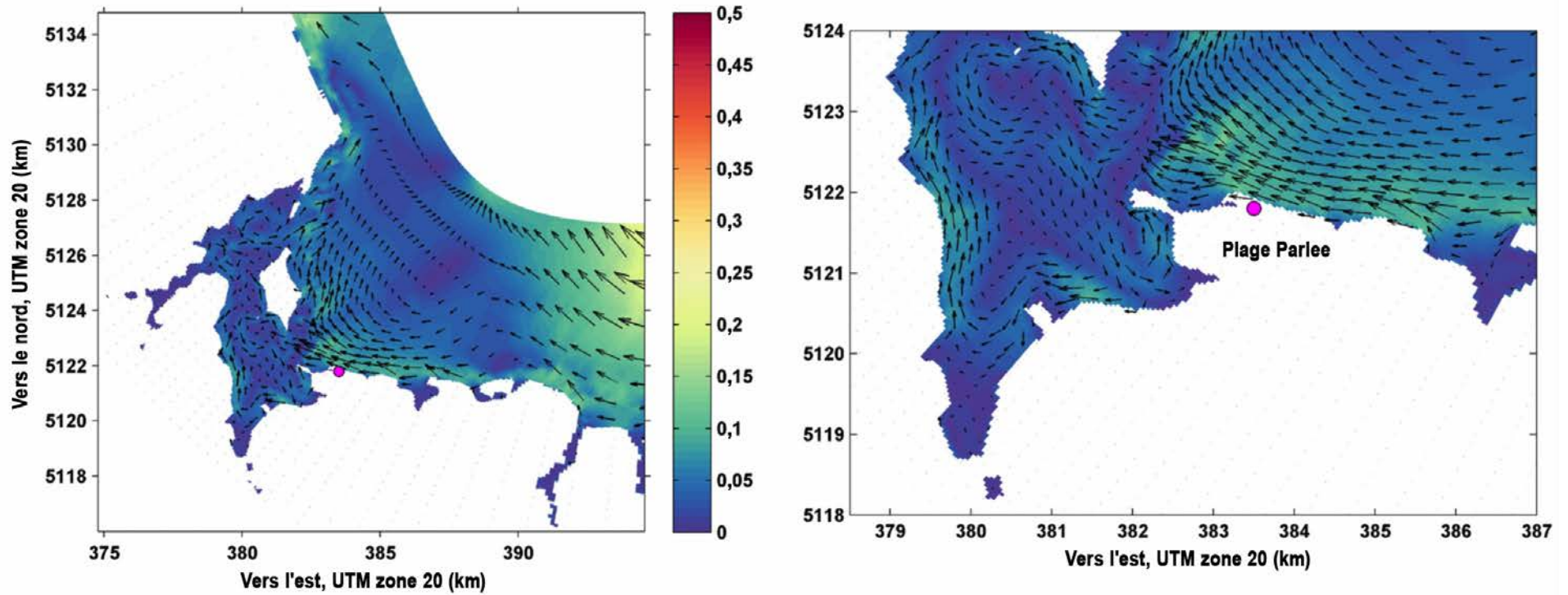


Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du S., vagues du N.

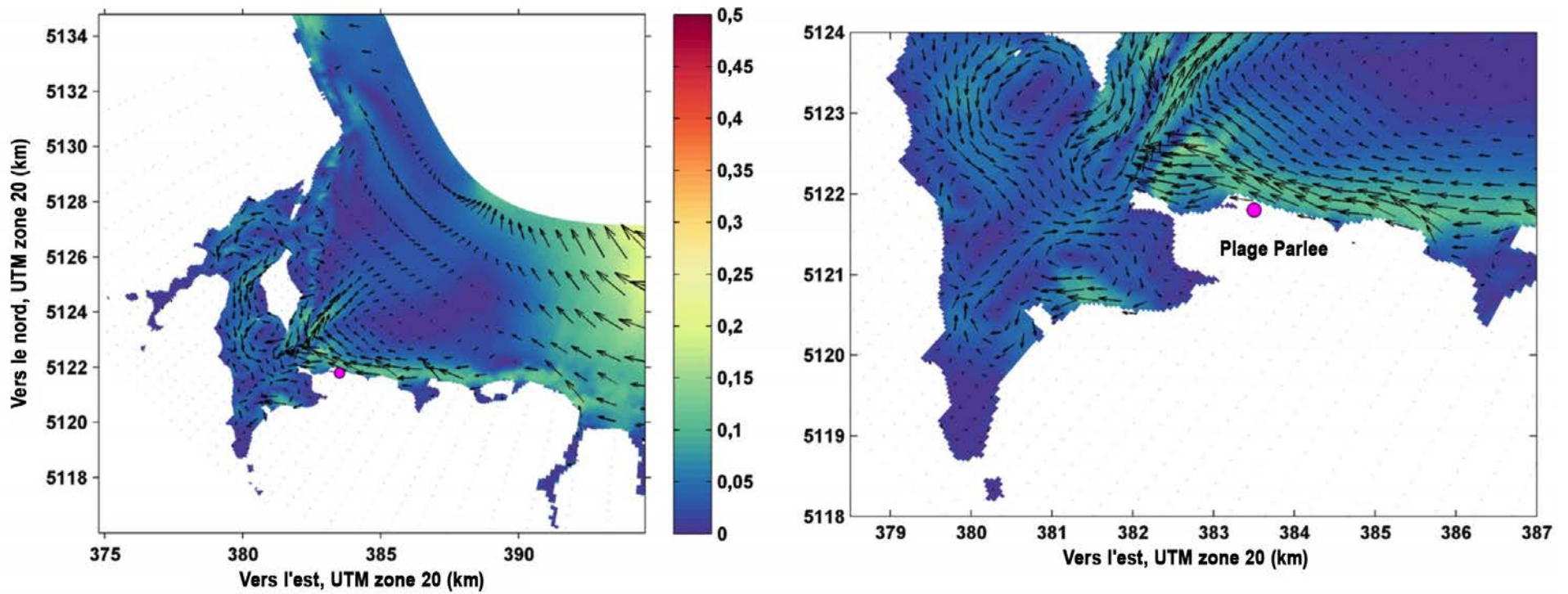




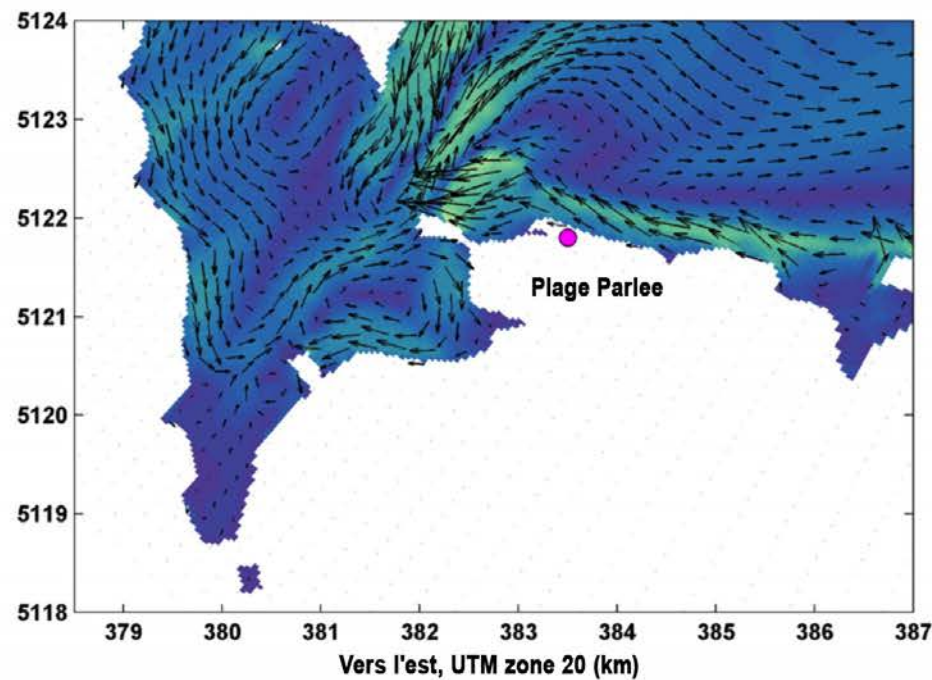
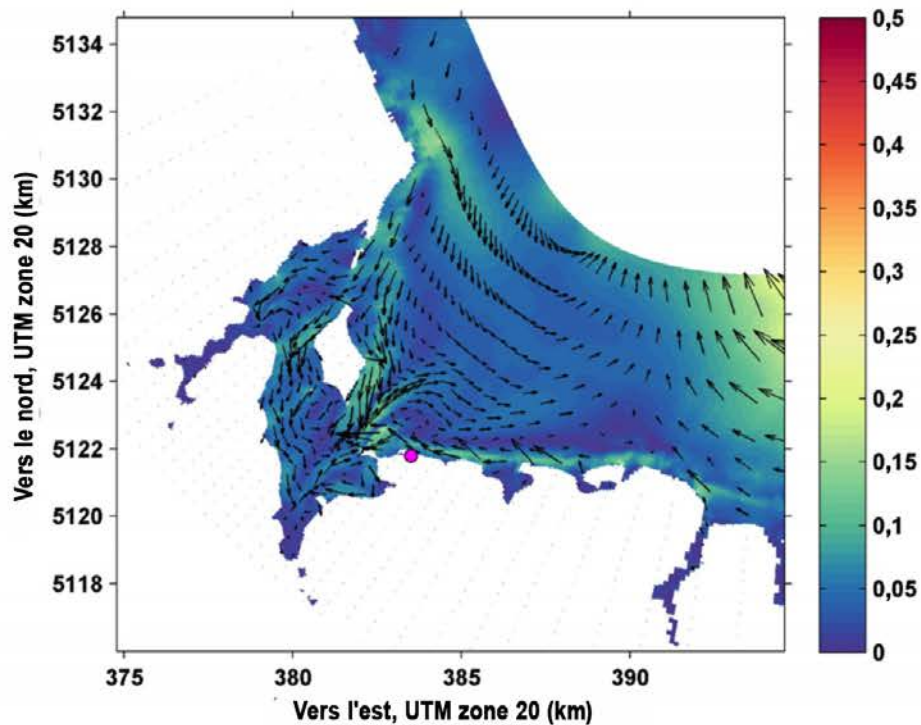
Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du S.-E., vagues de l'E.



Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.

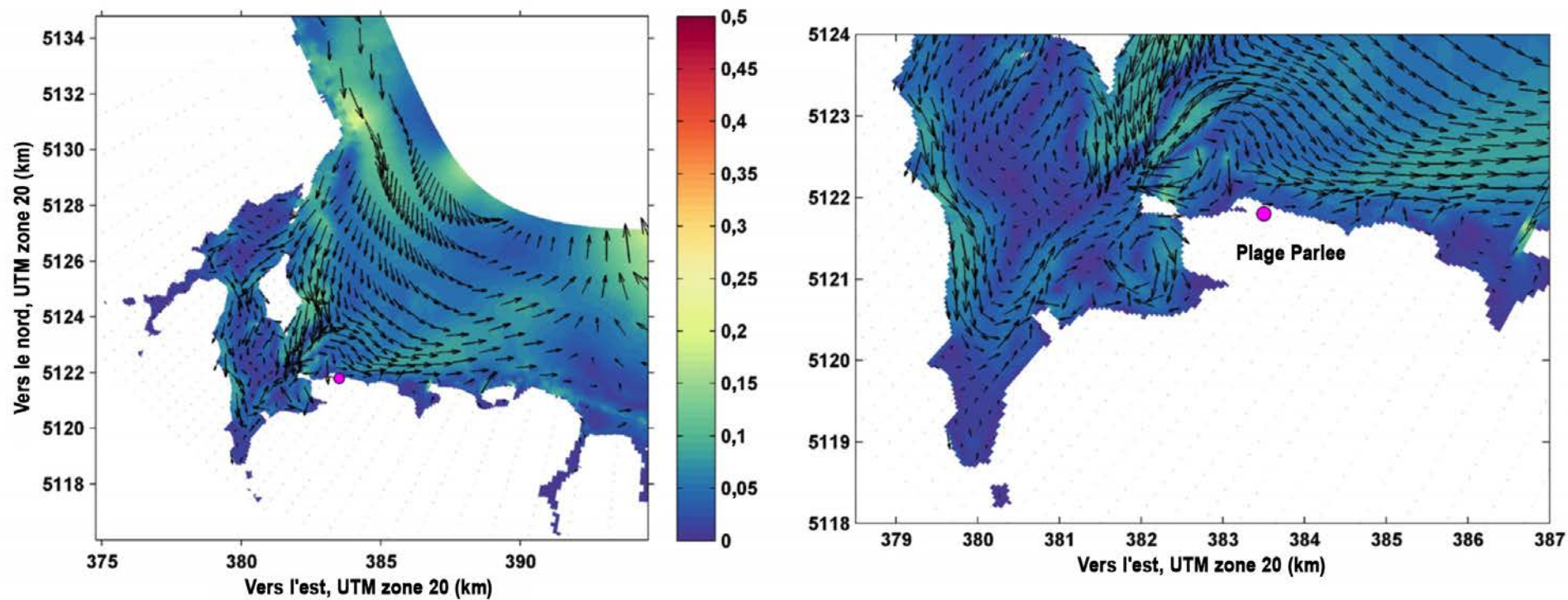


Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du N.-E., vagues du N.-E.





Modélisation des courants résiduels au moyen de Delft 3D (m/s), vents de 6 m/s du N., vagues du N.

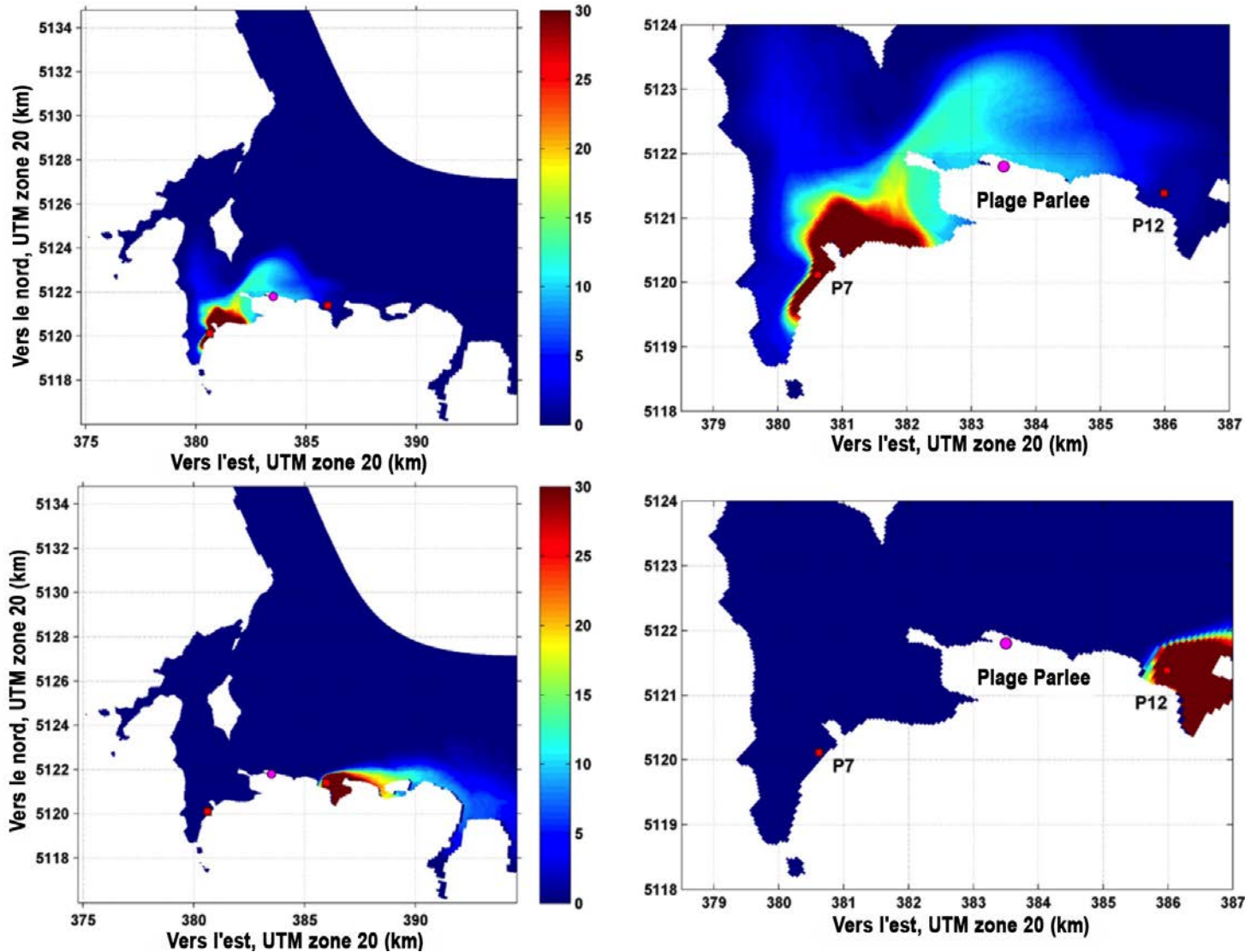


## **ANNEXE B**

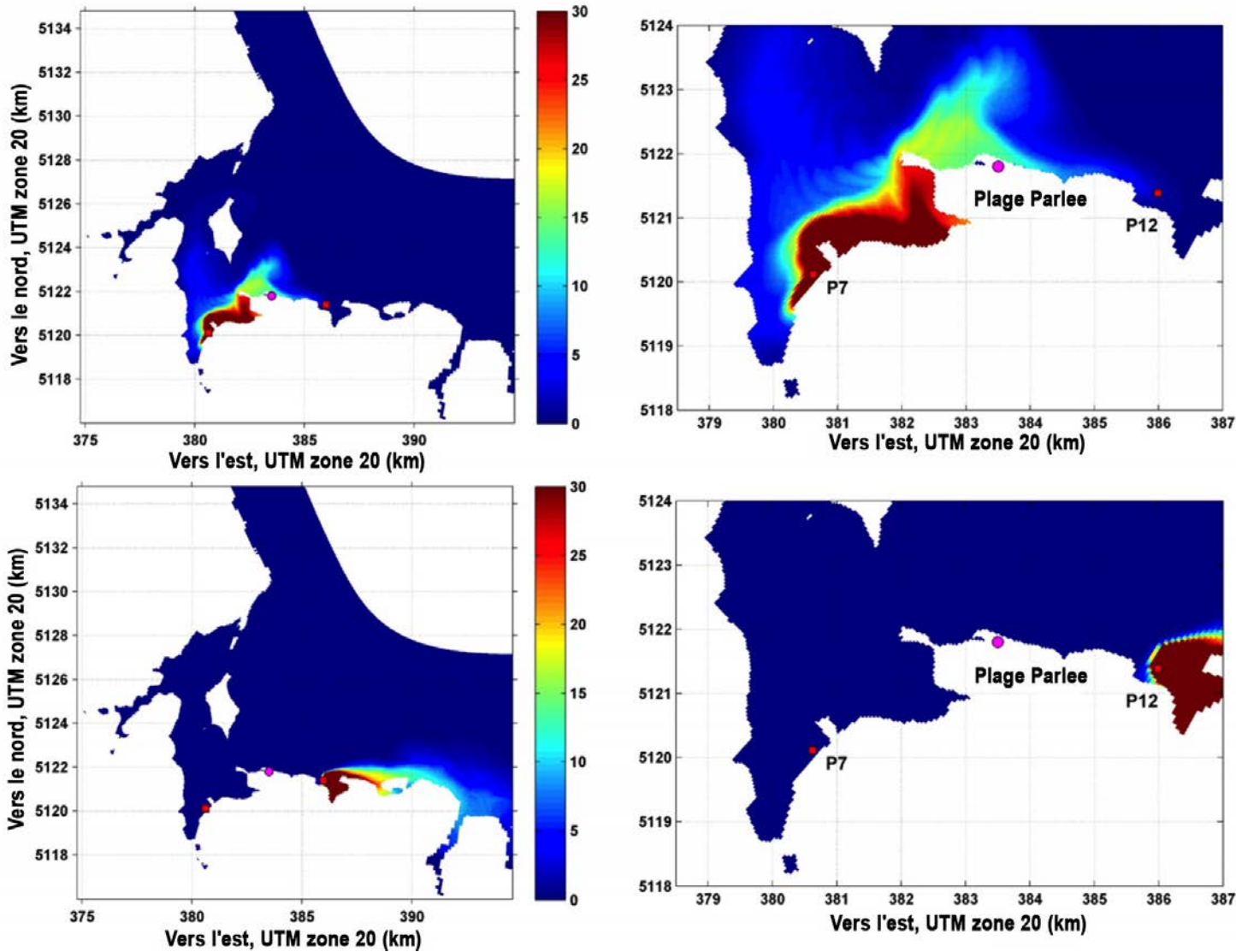
### **Cartes de modélisation des concentrations maximales de polluants sur 48 heures pour huit scénarios de forçage atmosphérique**



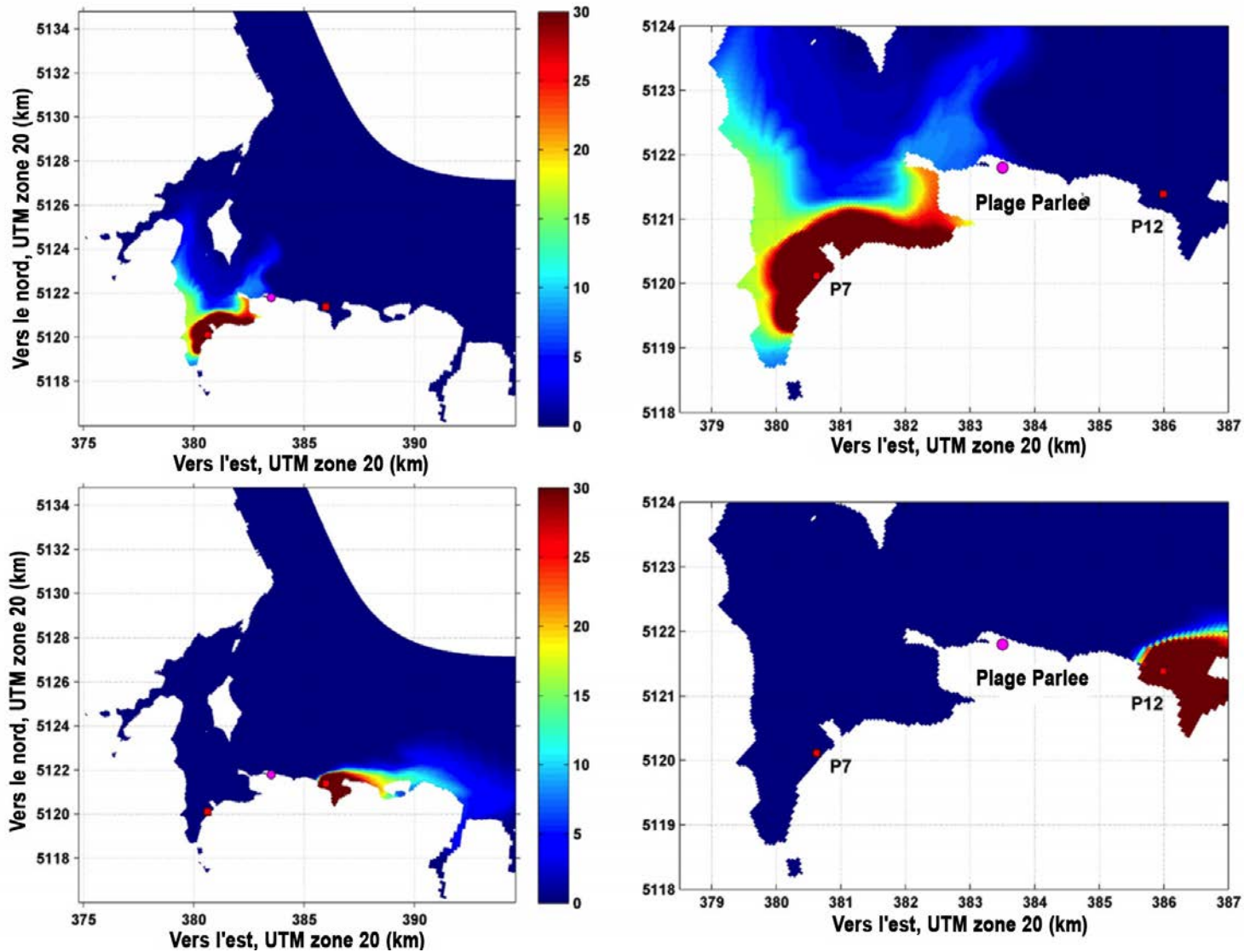
**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s du N.-O., vagues du N.-O.**



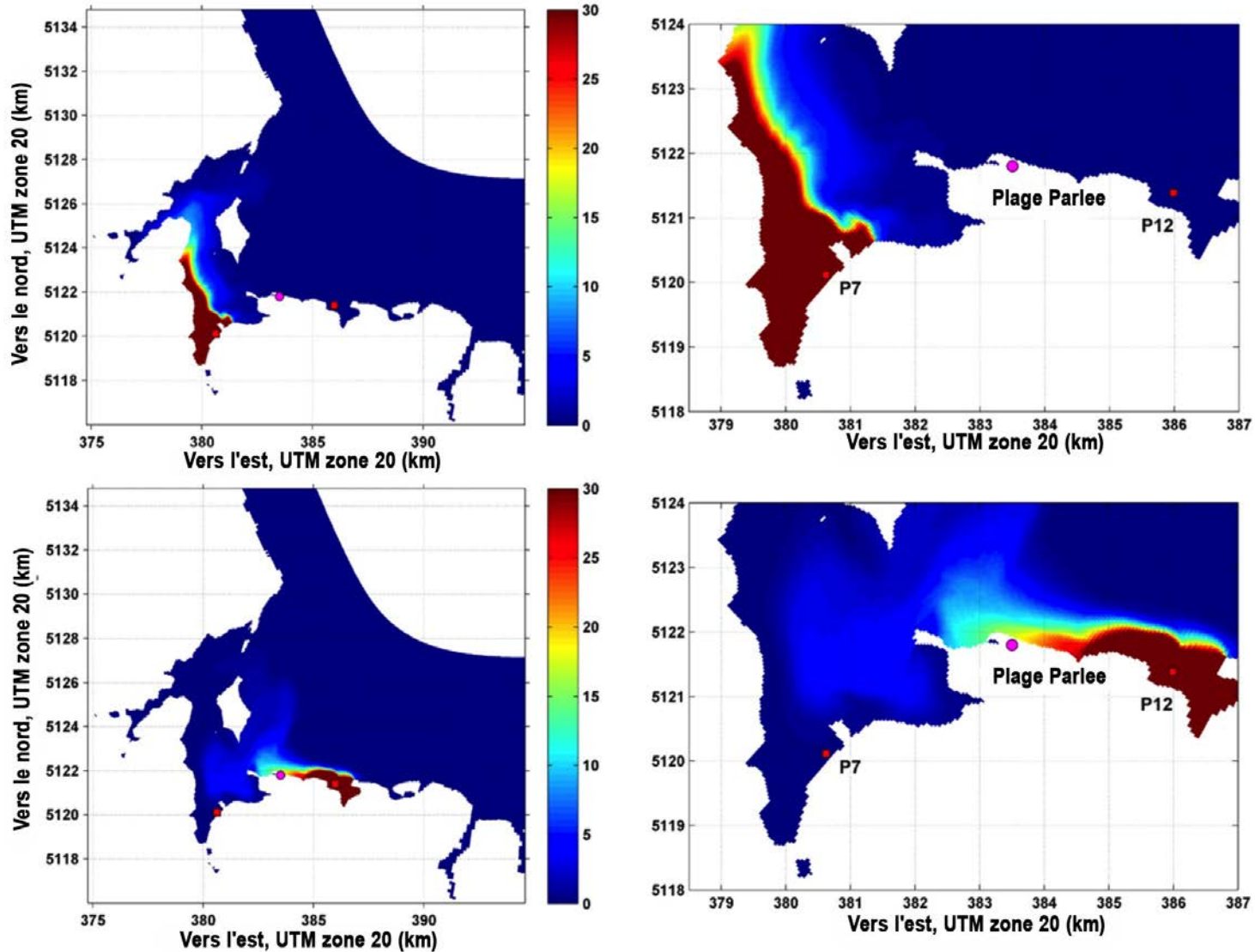
**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s de l'O., vagues du N.-O.**



**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s du S.-O., vagues du N.**

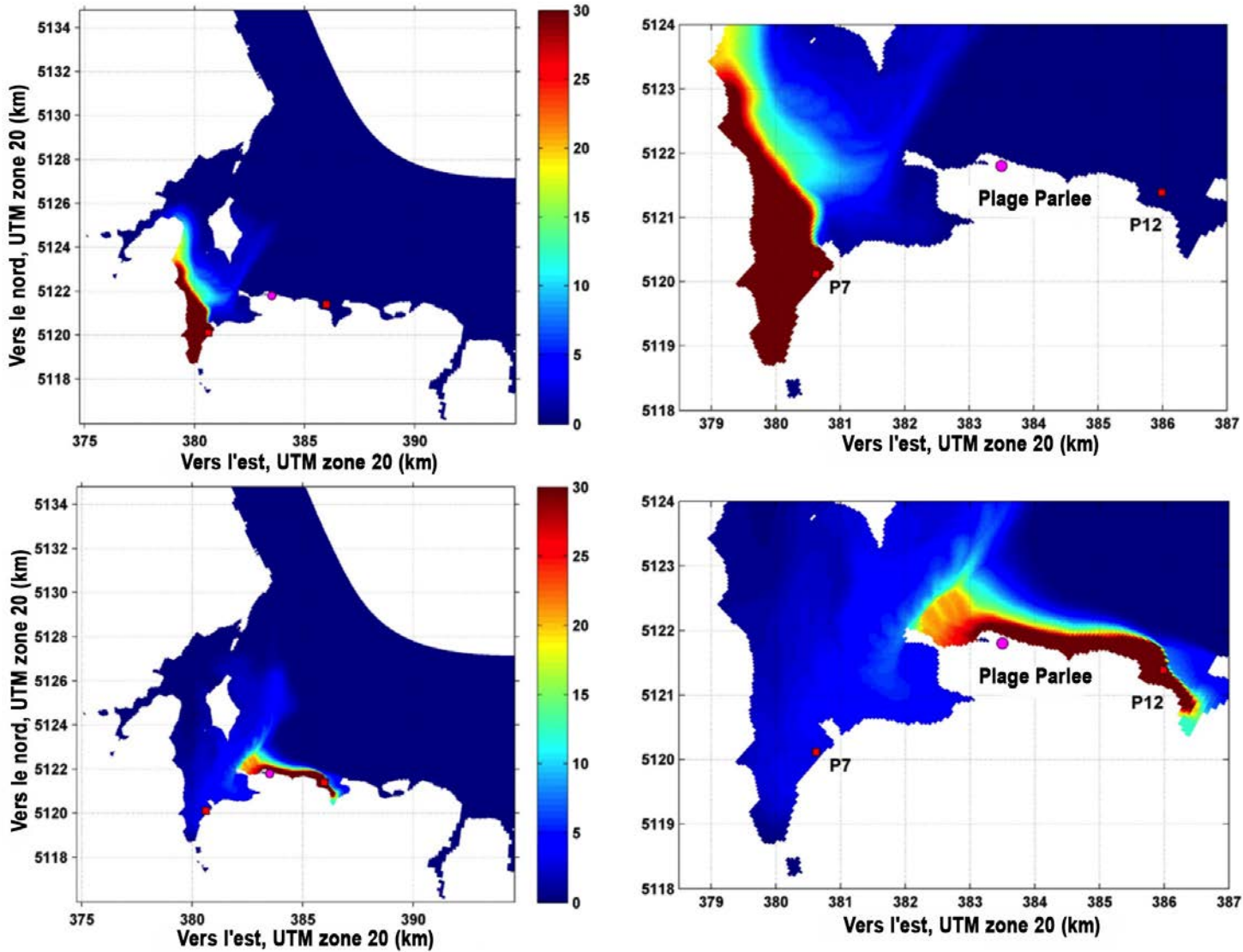


**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s du S., vagues du N.**

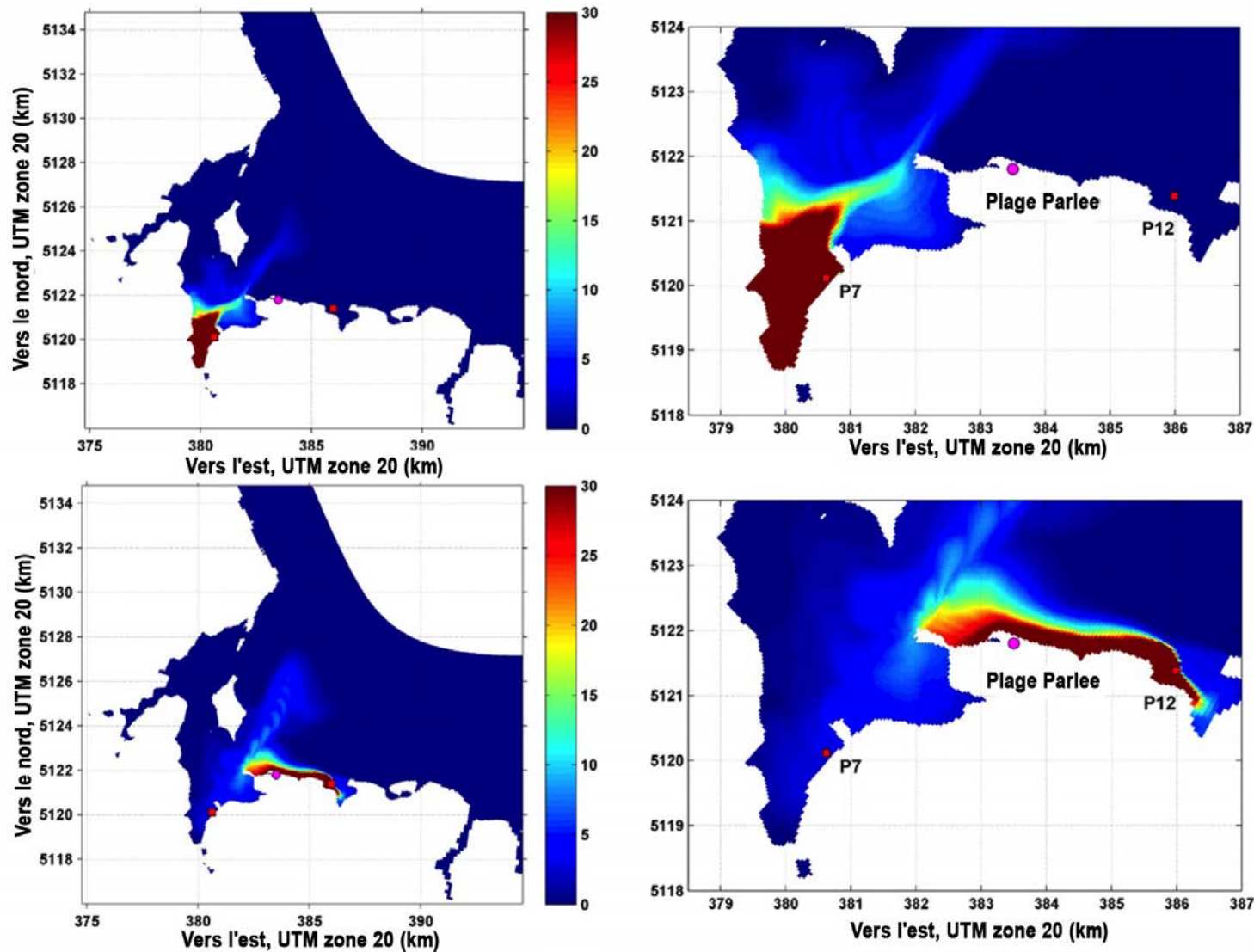




**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.**

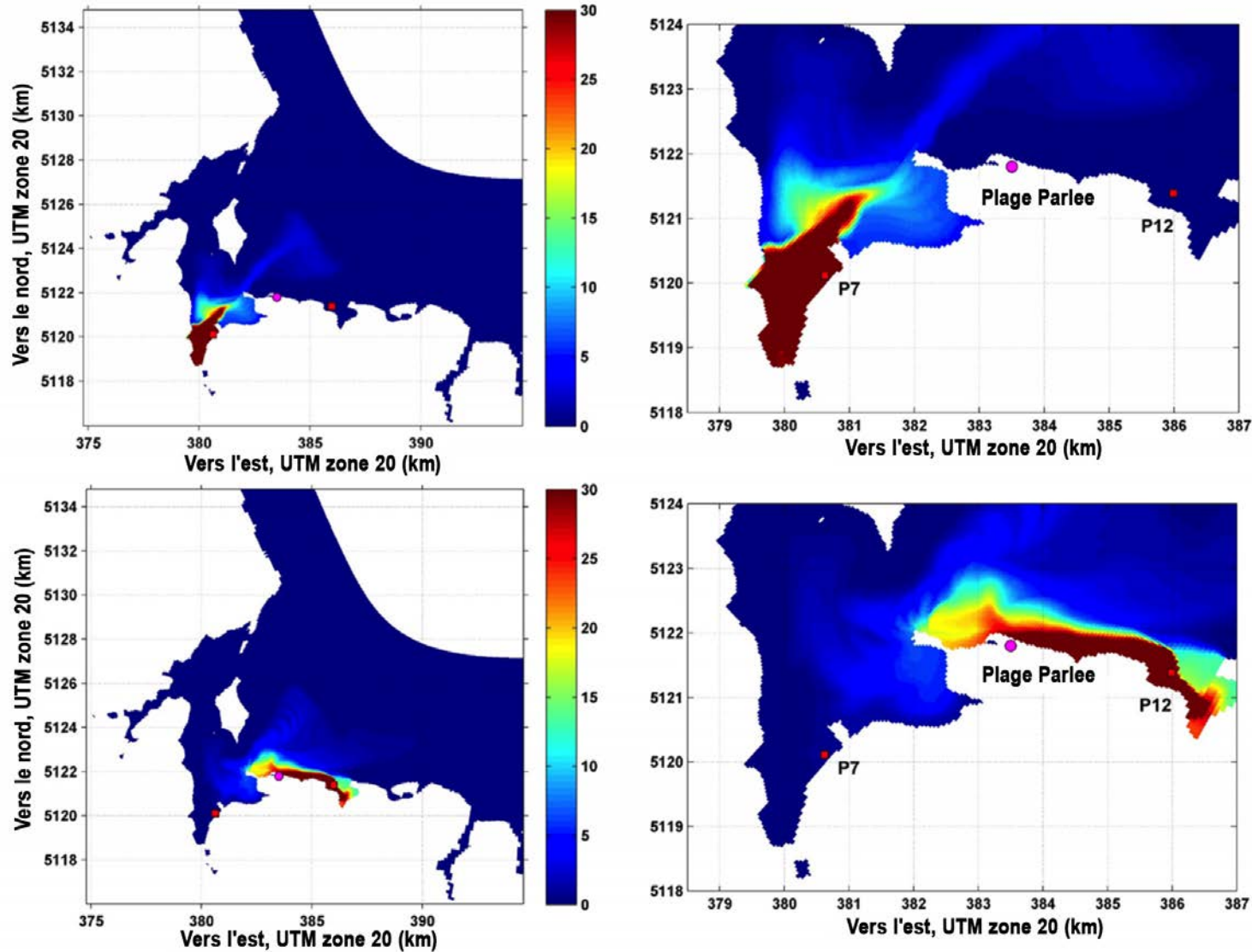


**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.**

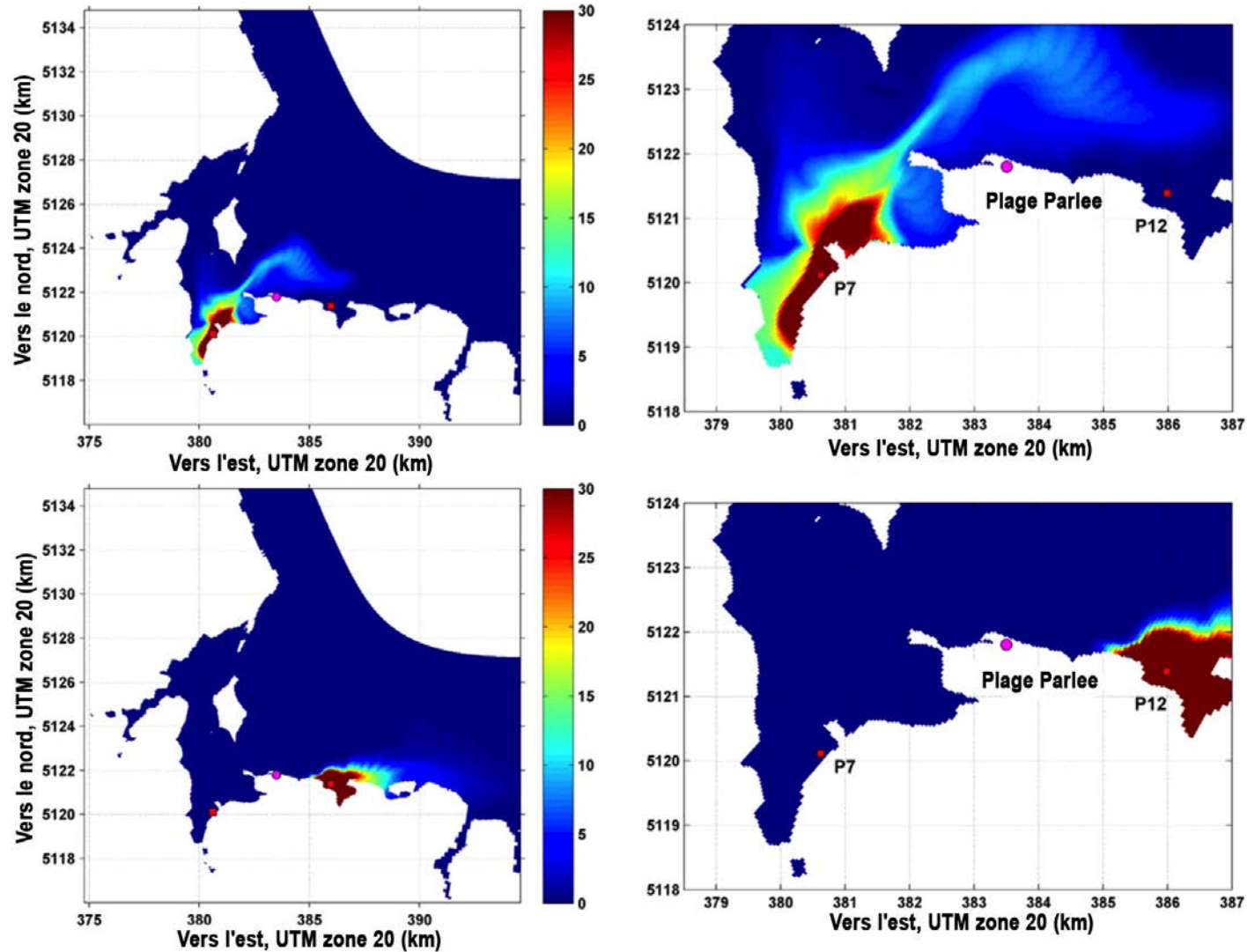




**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s du N.-E., vagues du N.-E.**



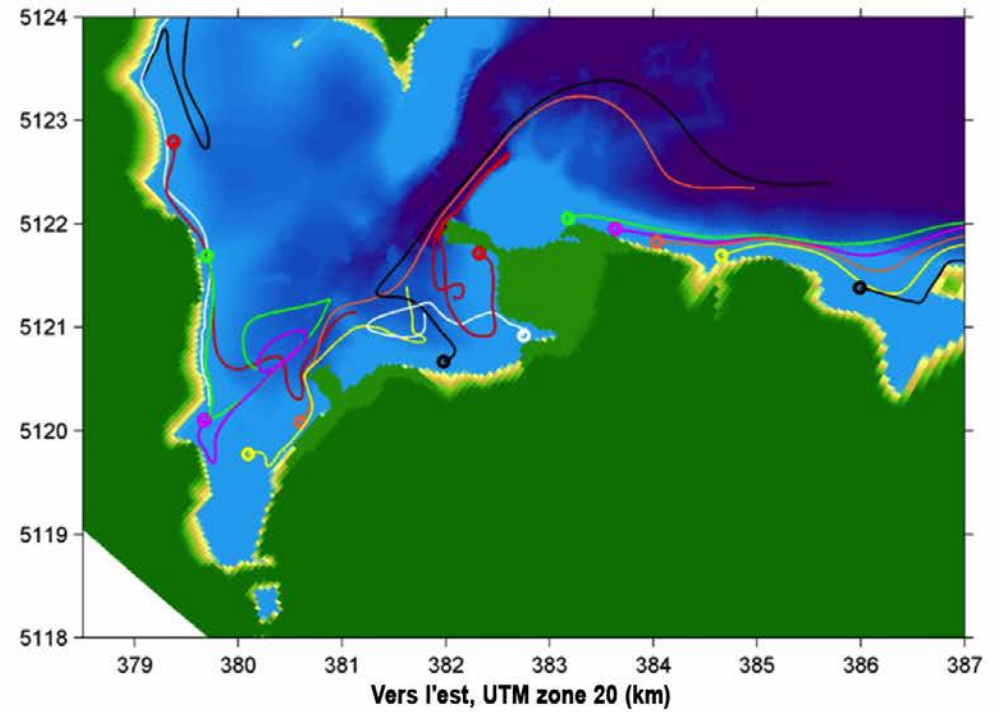
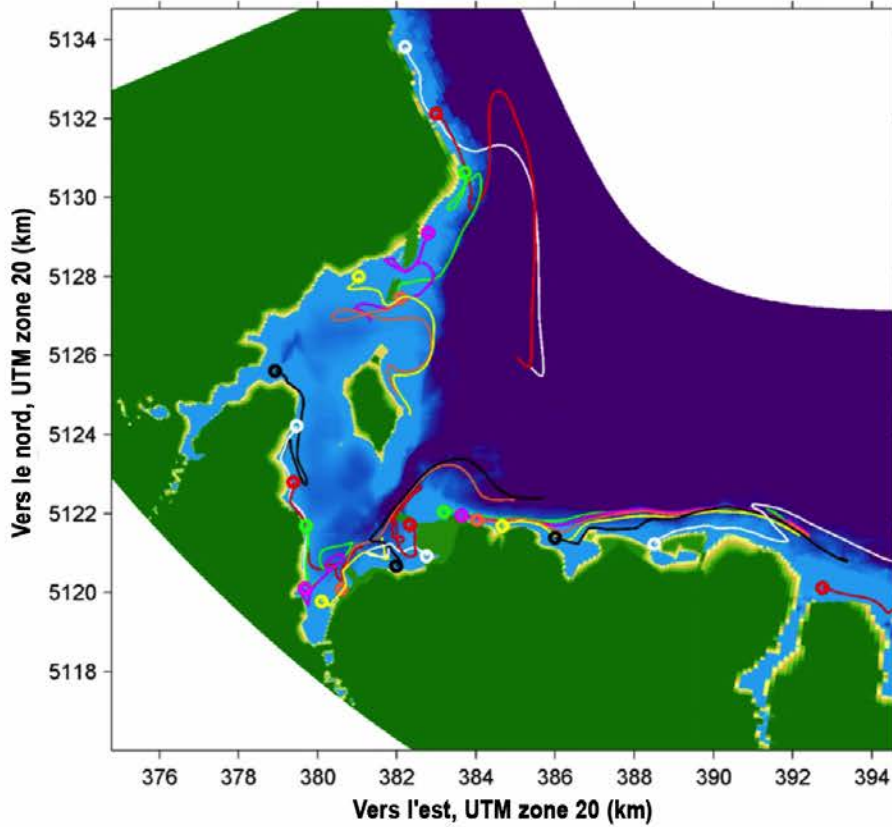
**Modélisation de la concentration nominale des polluants (max. sur 48 h) au moyen de Delft3D, vents de 6 m/s du N., vagues du N.**



## ANNEXE C

**Cartes de modélisation des trajectoires sur 24 heures pour les drogues lancées à 0 h, à 6 h et à 12 h à compter du déversement de la source polluante pour huit scénarios de forçage atmosphérique**

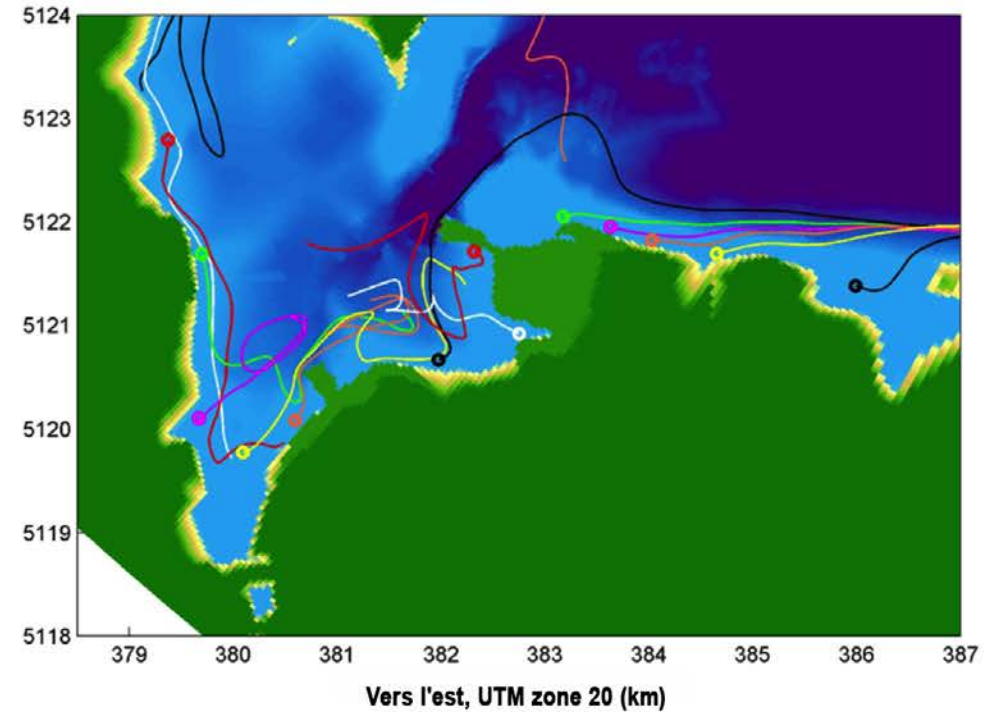
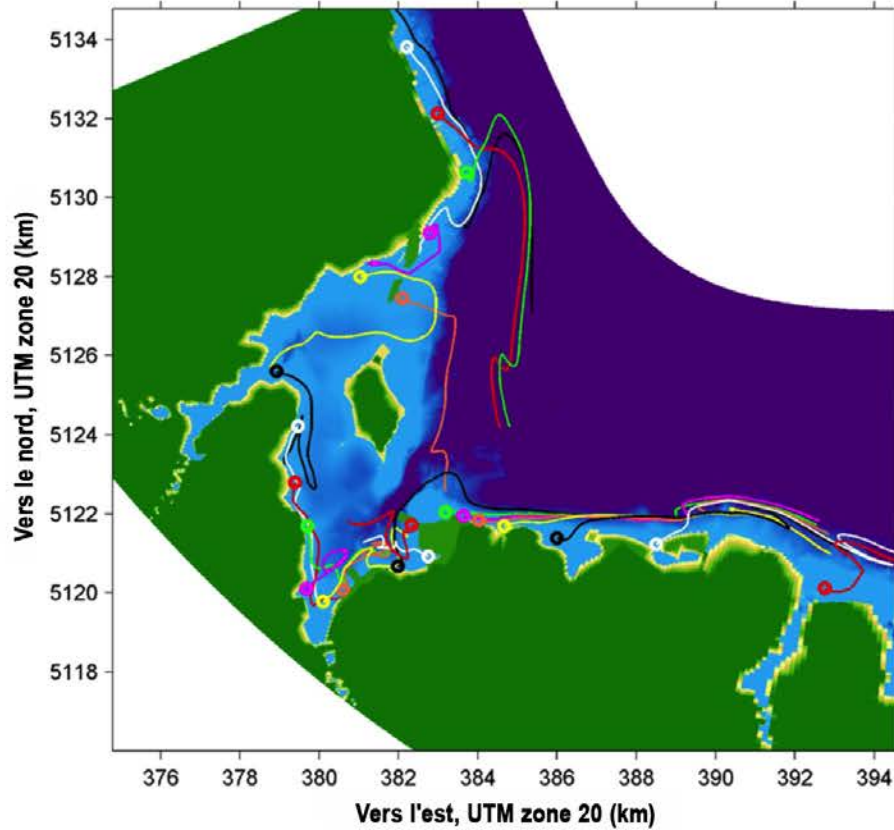
**Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du N.-O., vagues du N.-O.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**



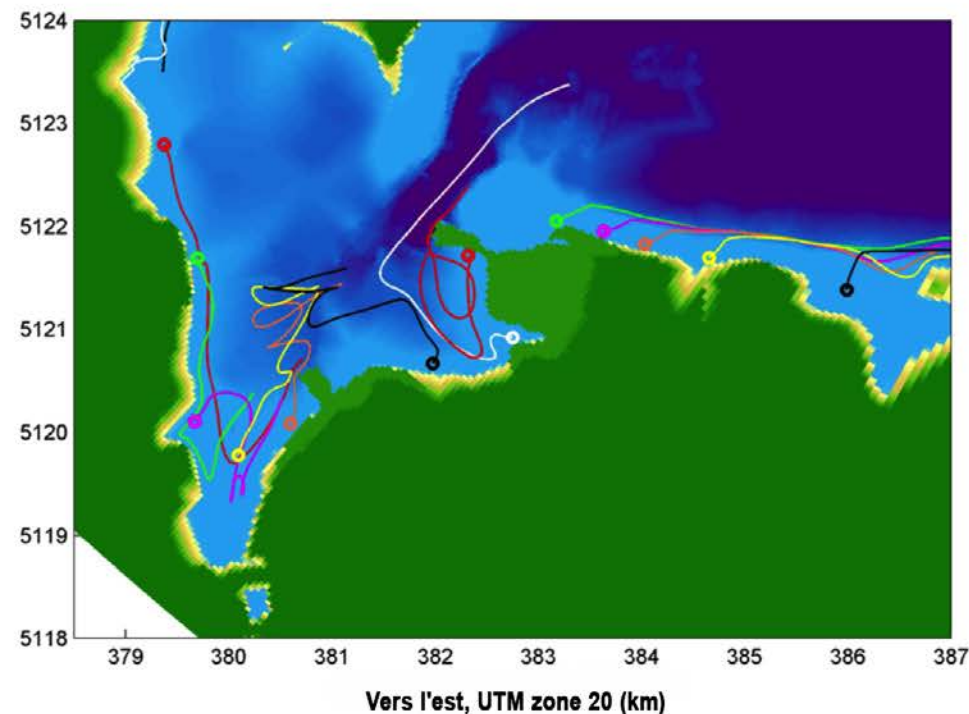
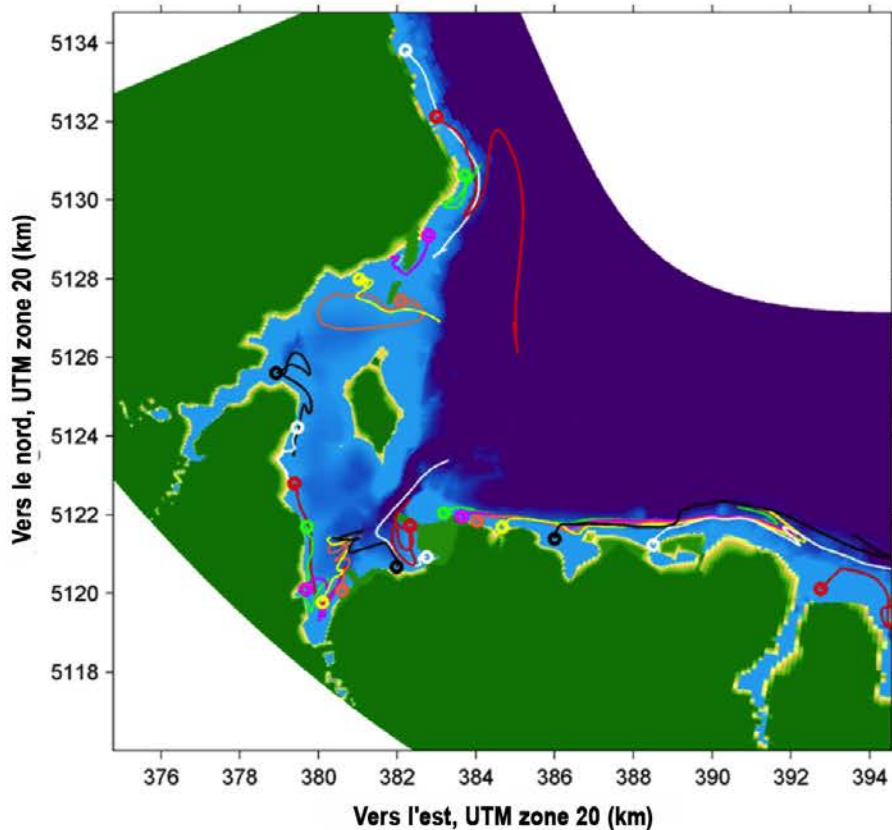
**Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du N.-O., vagues du N.-O.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

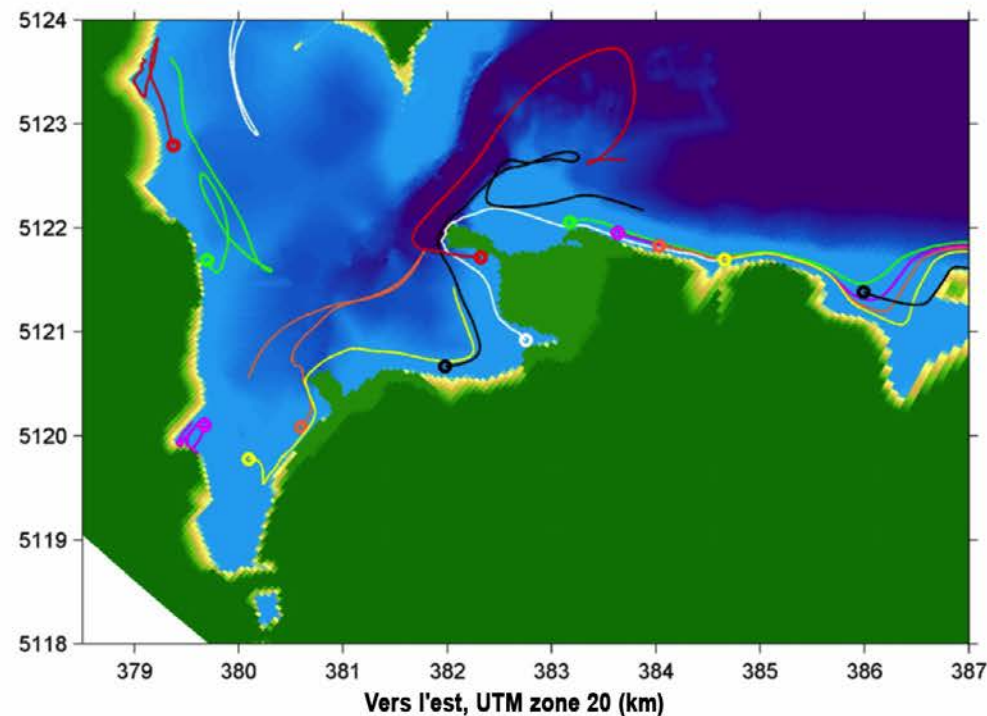
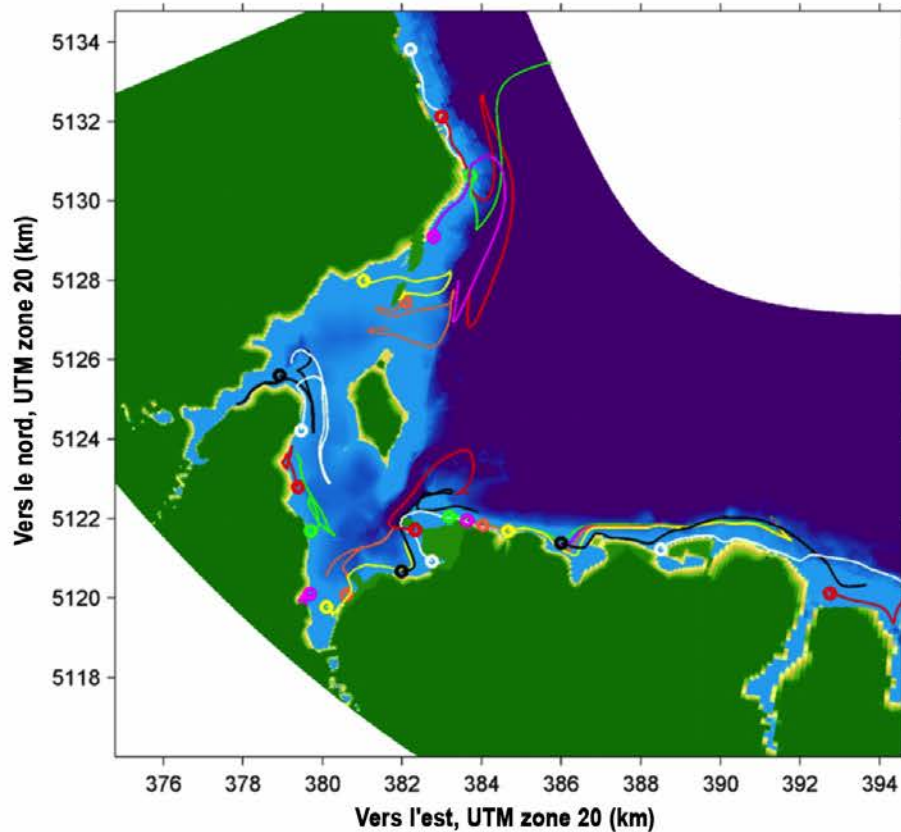


Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du N.-O., vagues du N.-O.



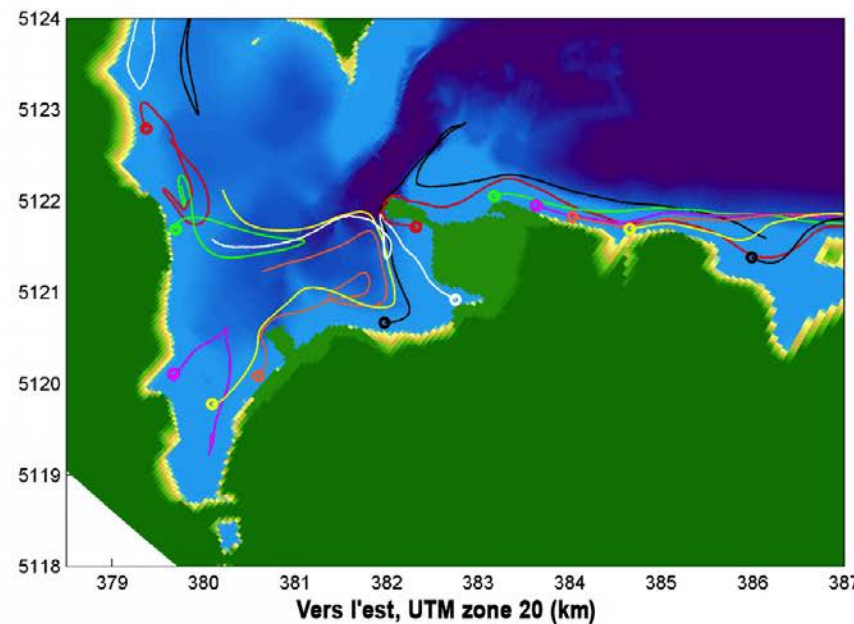
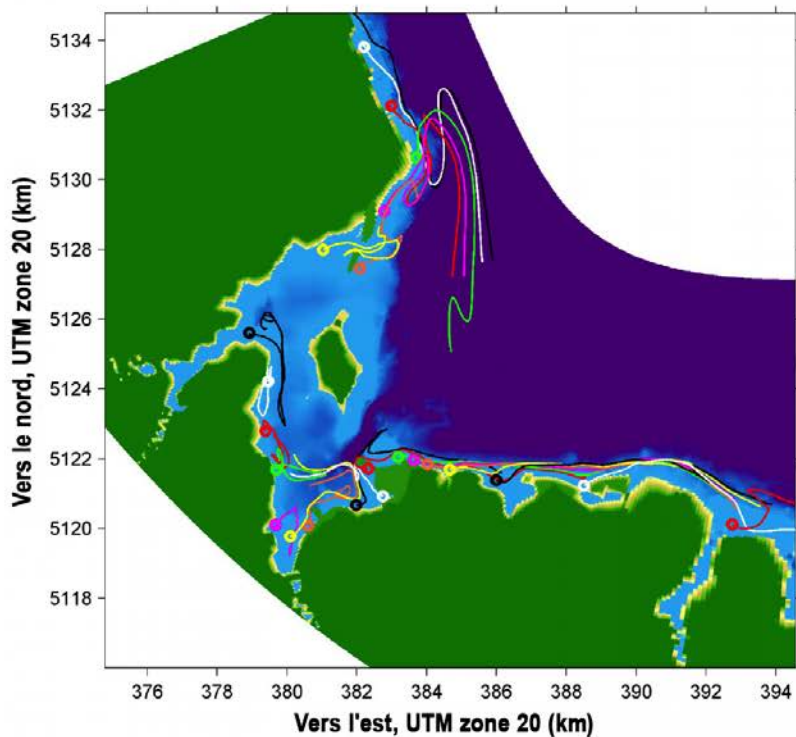
Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s de l'O., vagues de l'O.



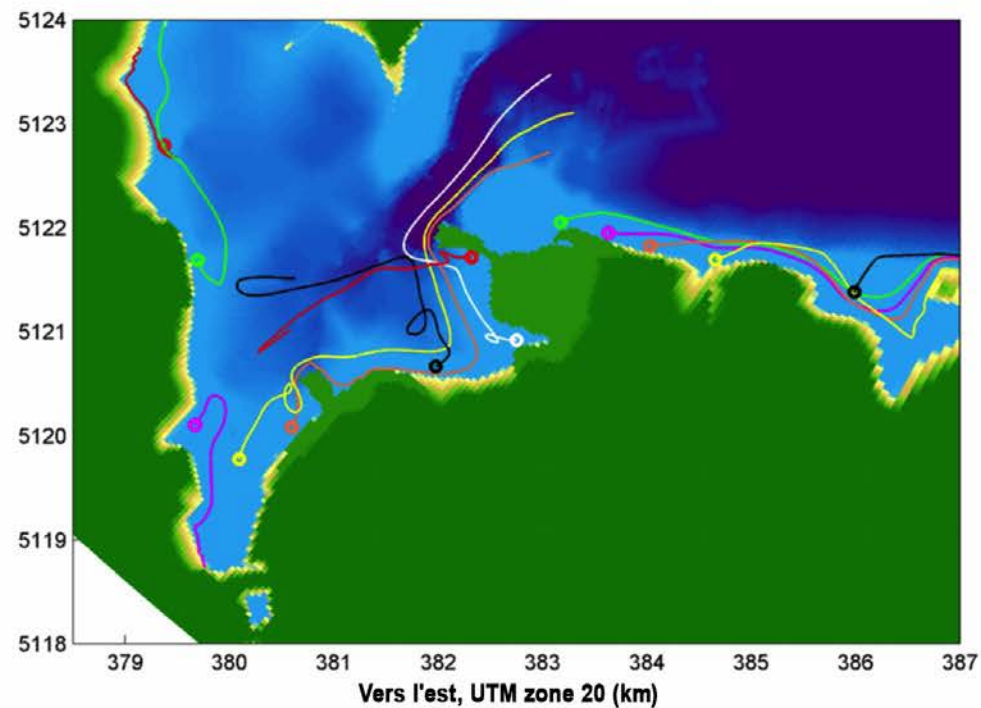
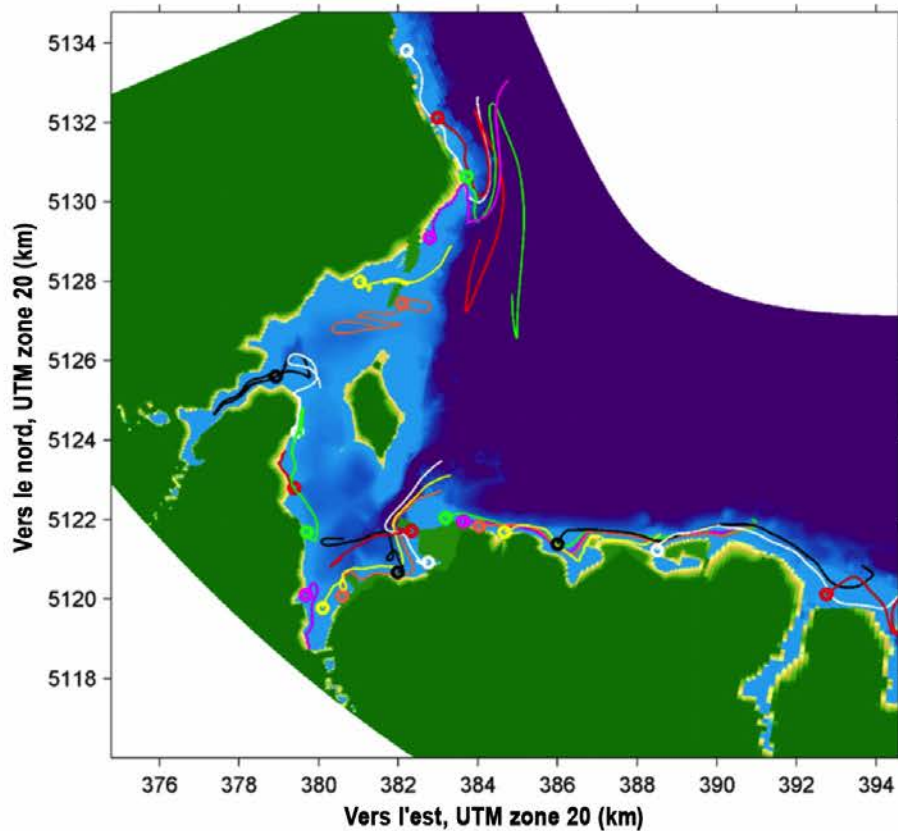
Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s de l'O., vagues de l'O.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

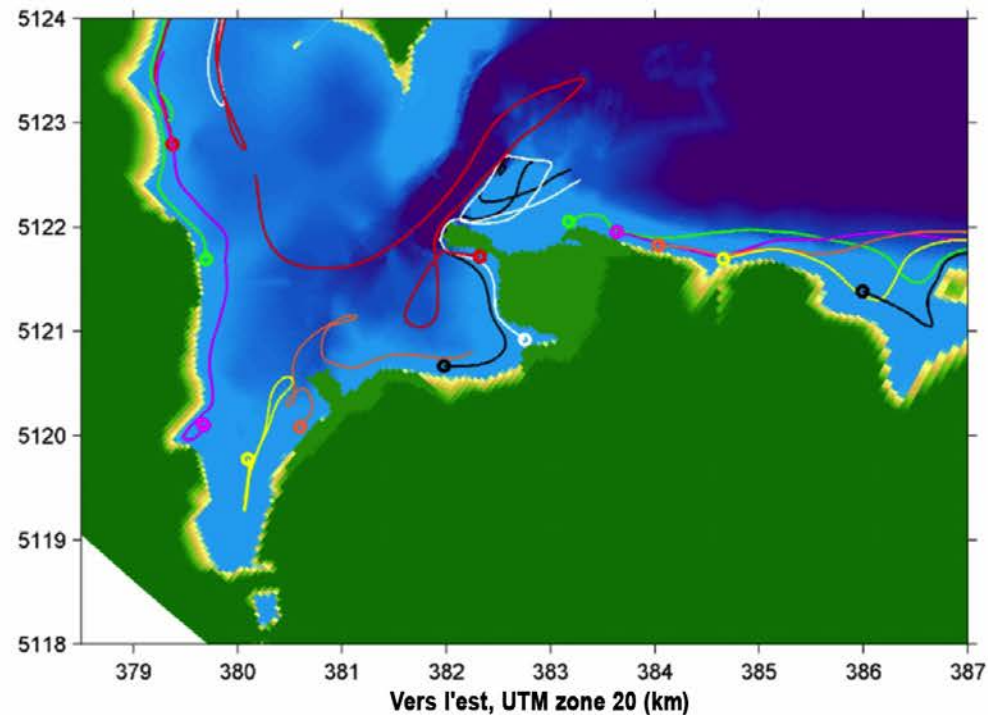
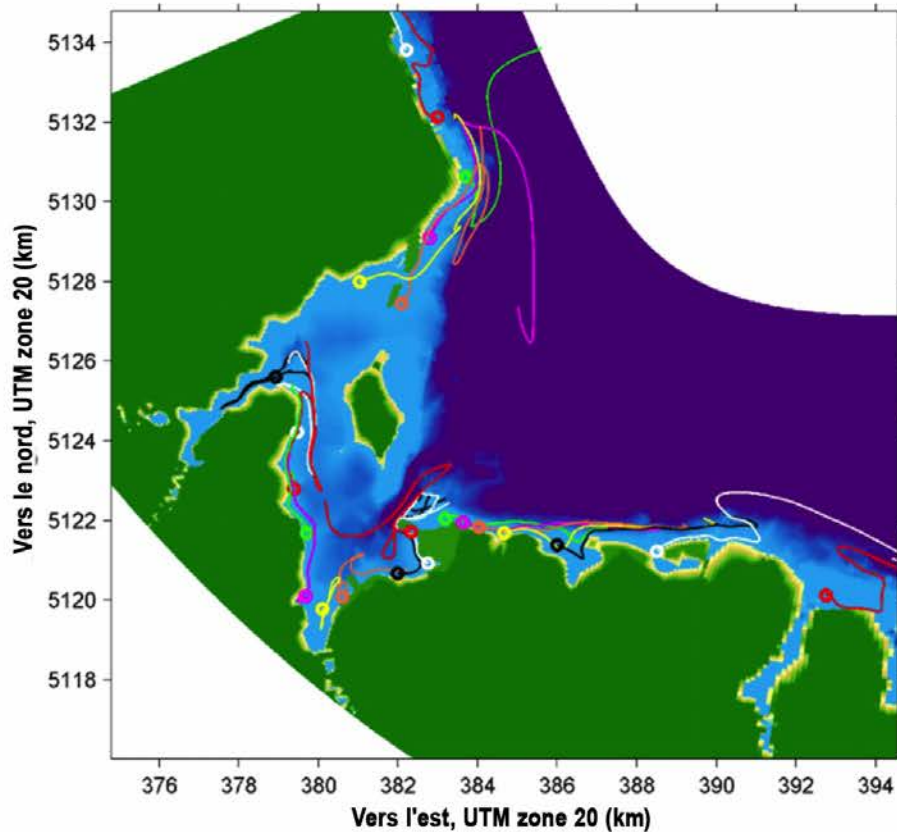
Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s de l'O., vagues de l'O.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.



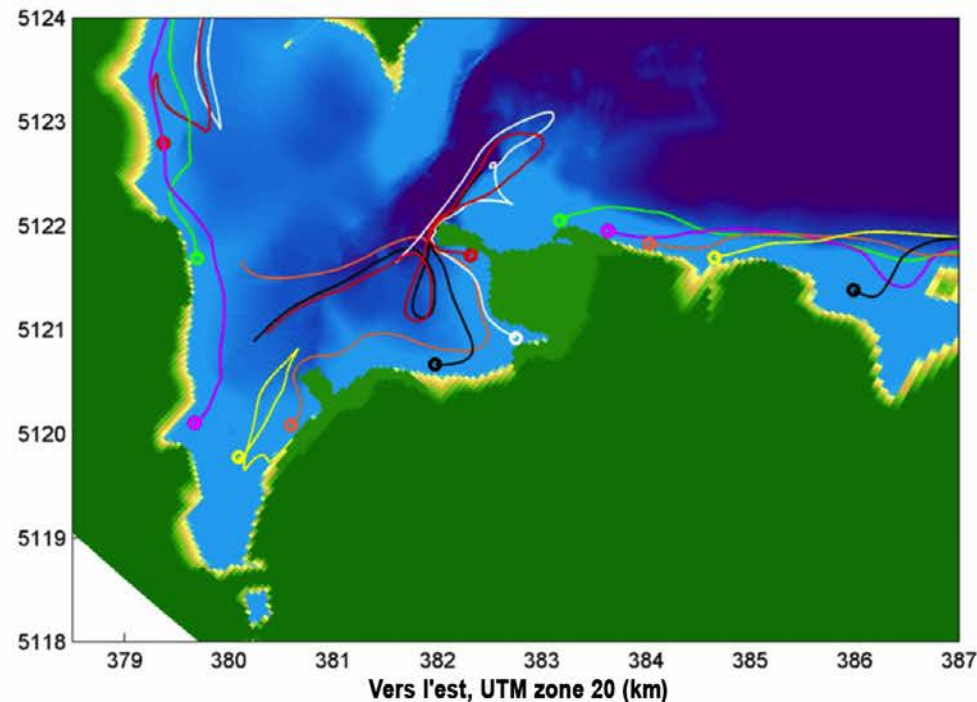
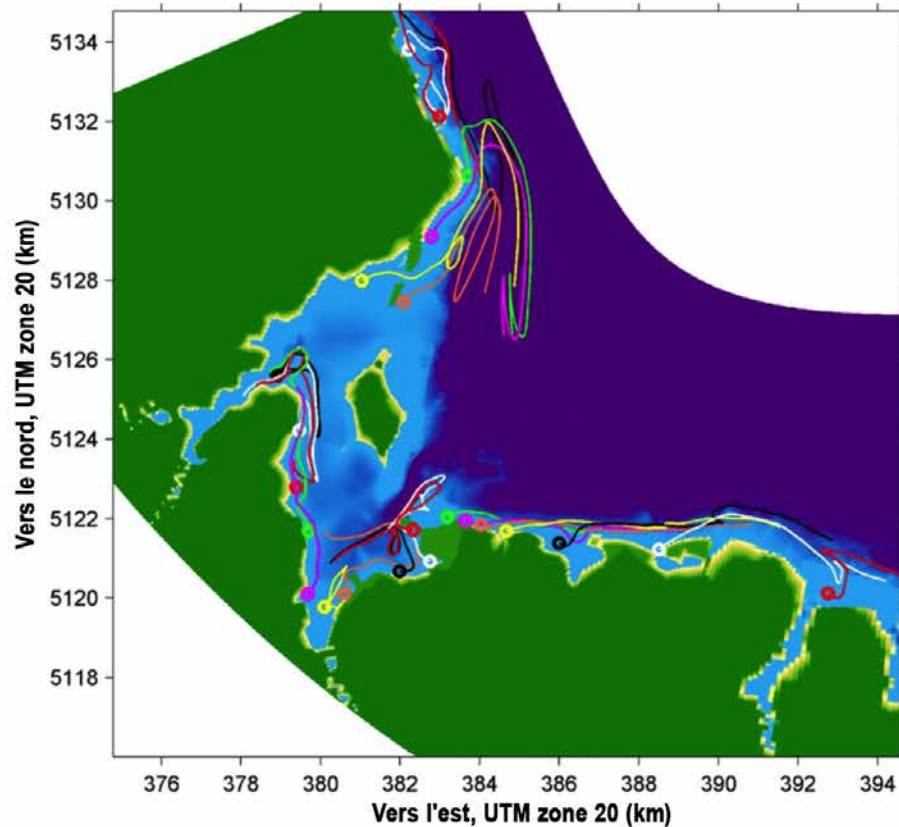
Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du S.-O., vagues du N.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

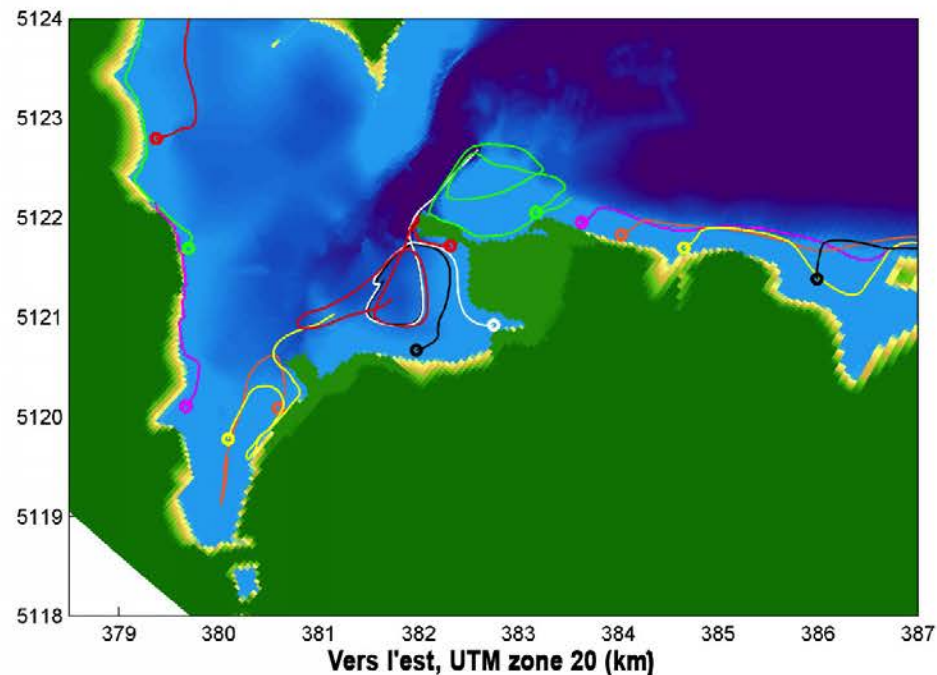
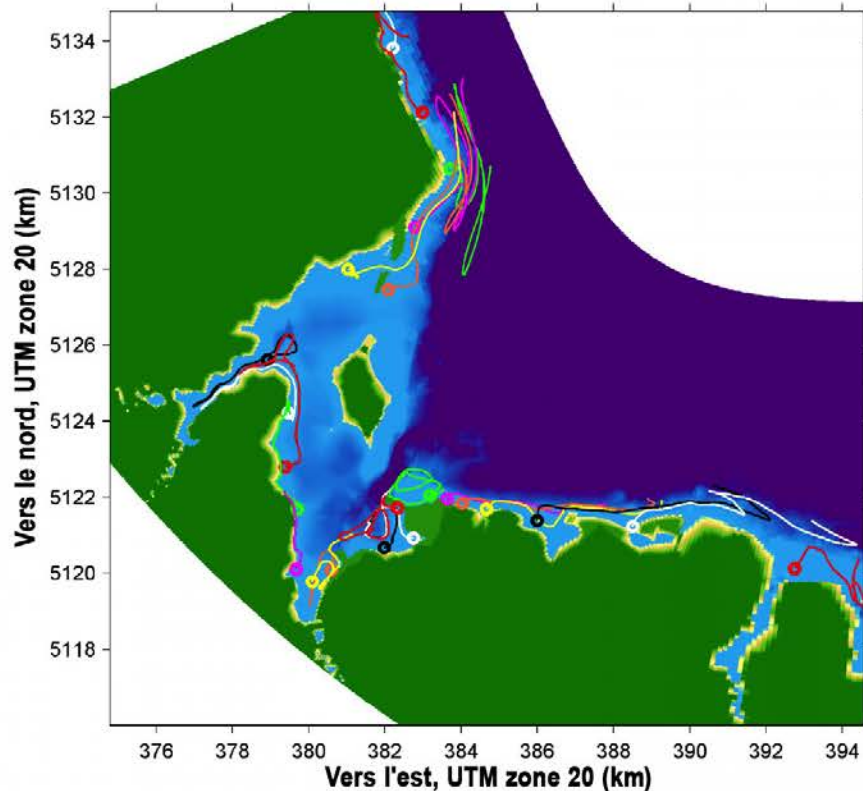


**Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du S.-O., vagues du N.**



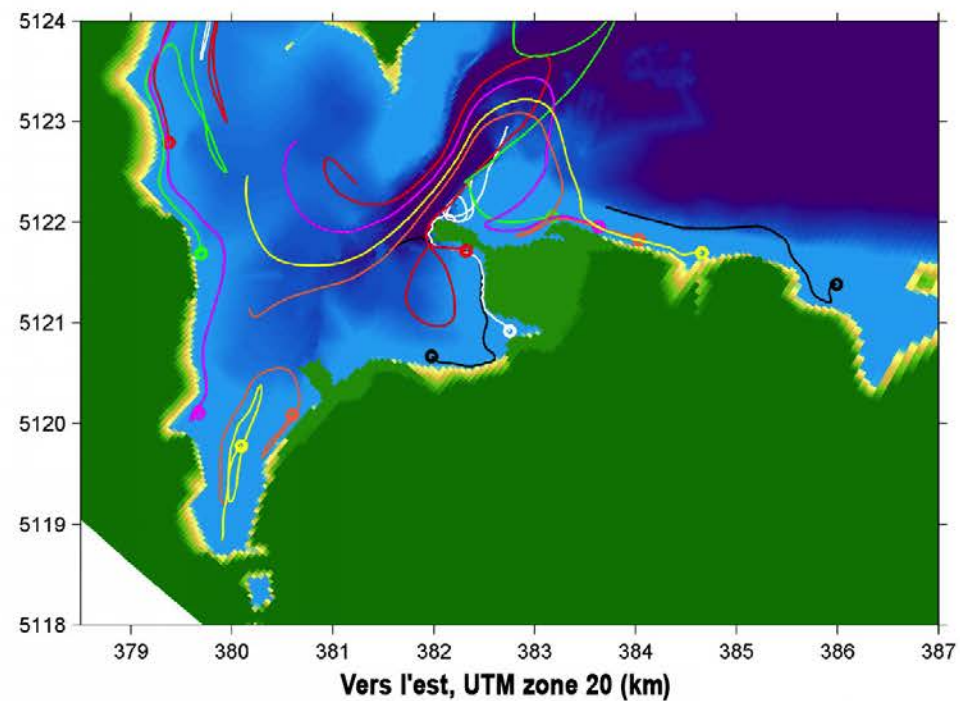
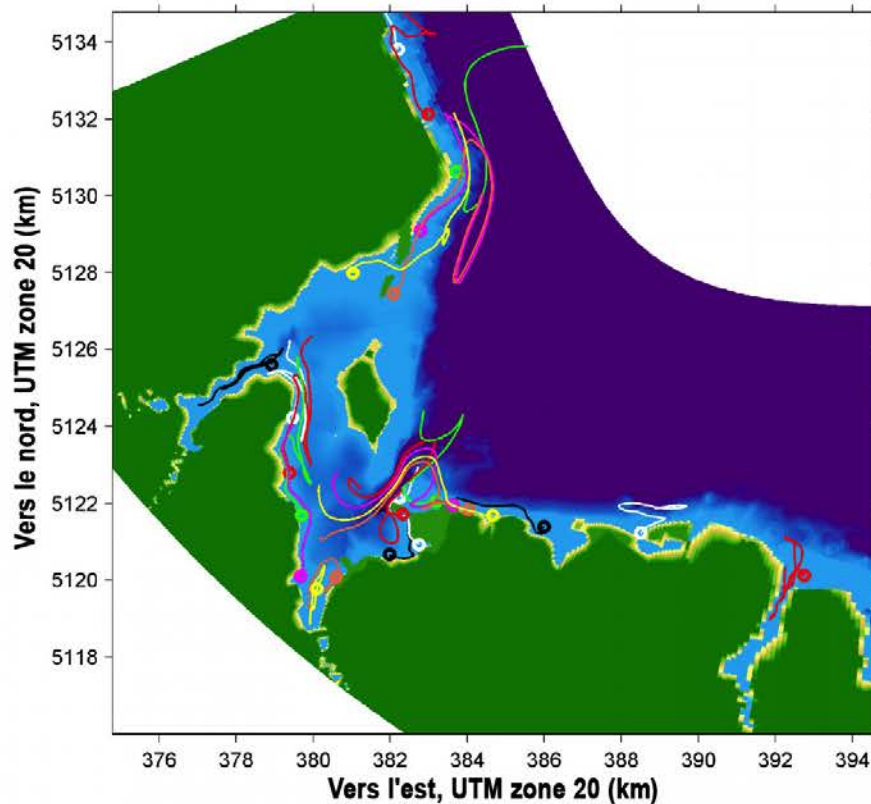
**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

**Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du S.-O., vagues du N.**



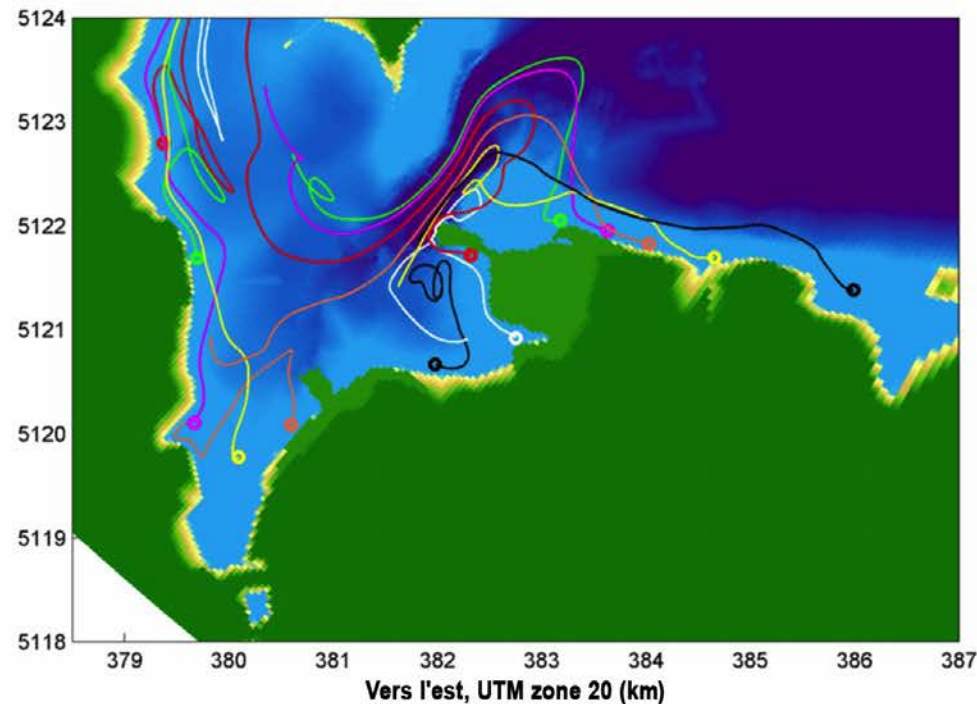
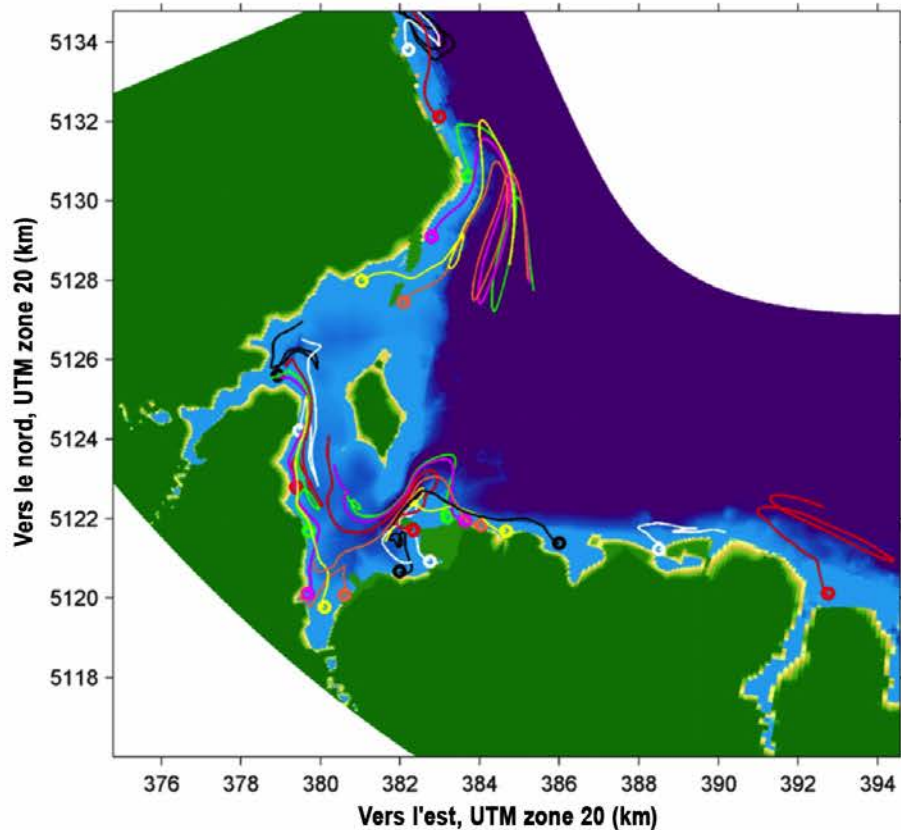
**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

**Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du S., vagues du N.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

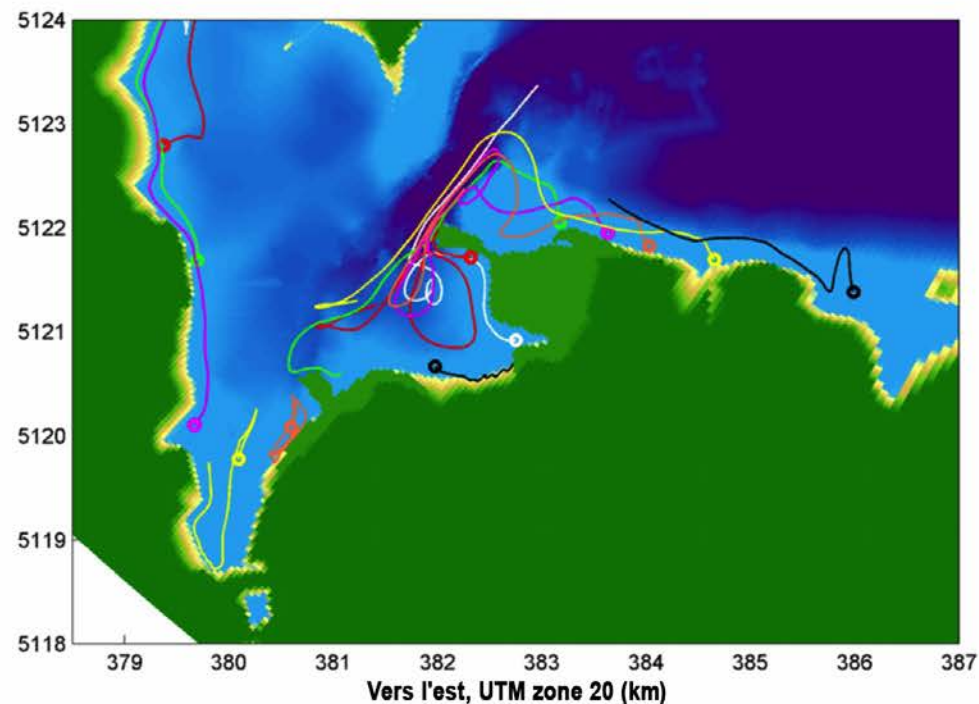
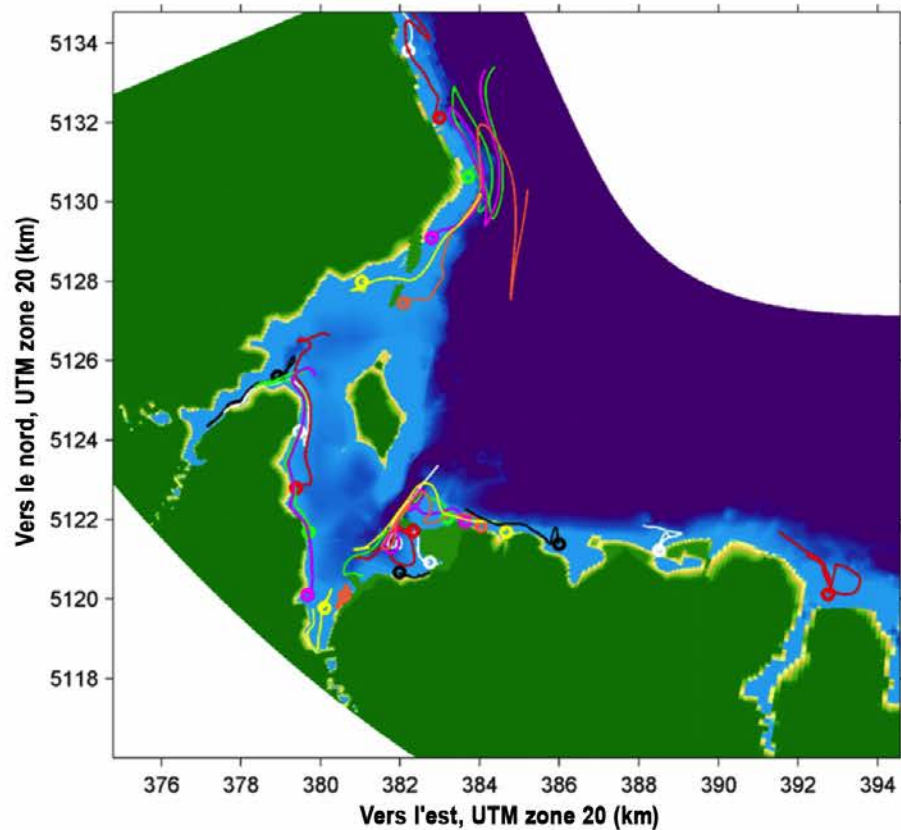
Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du S., vagues du N.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.



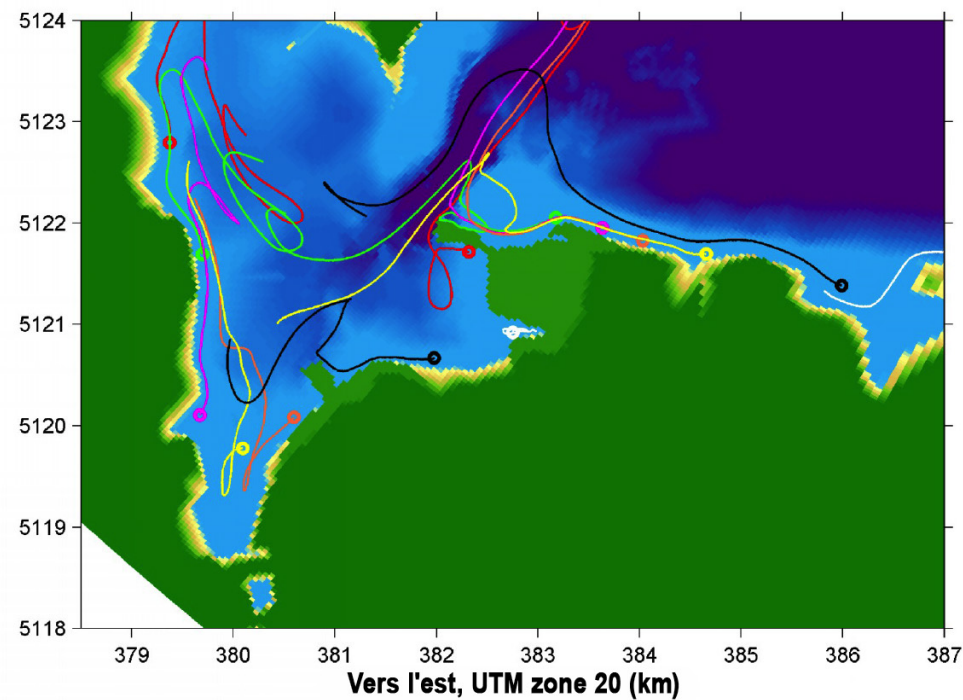
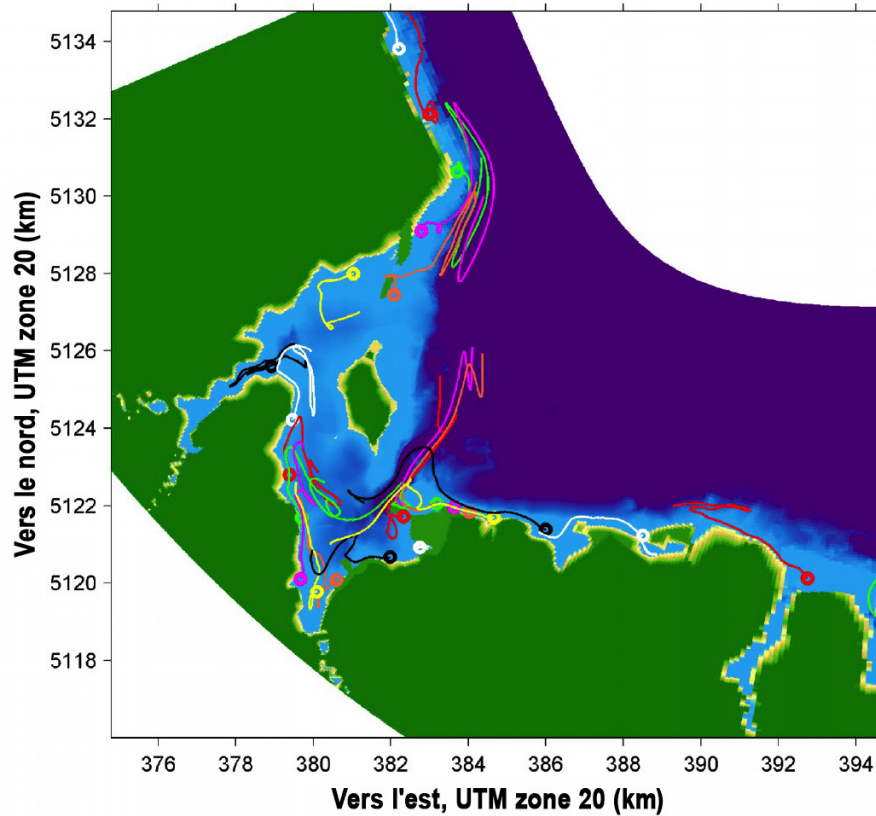
**Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du S., vagues du N.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

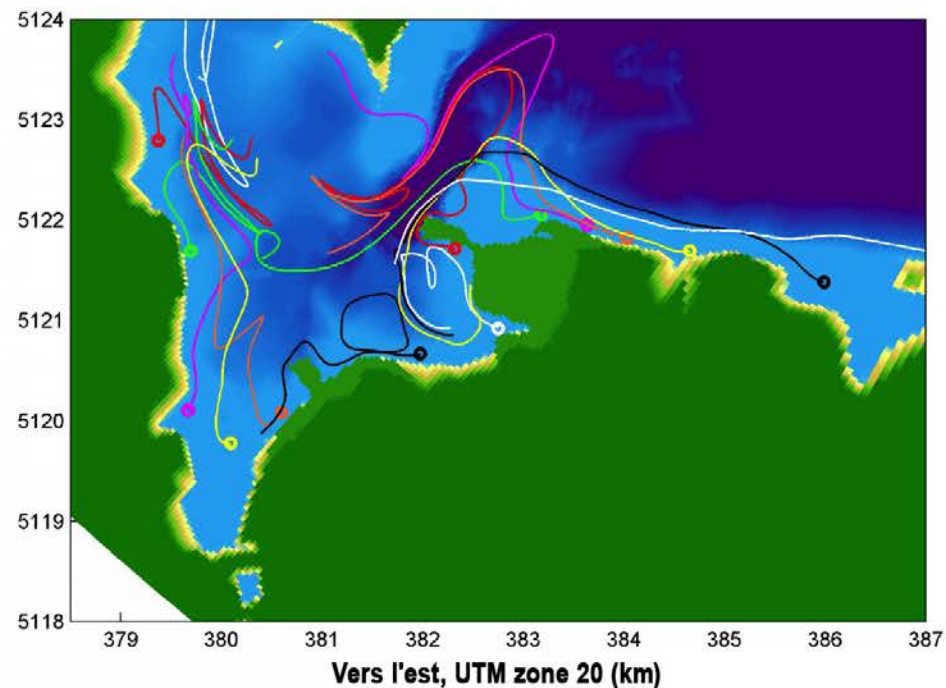
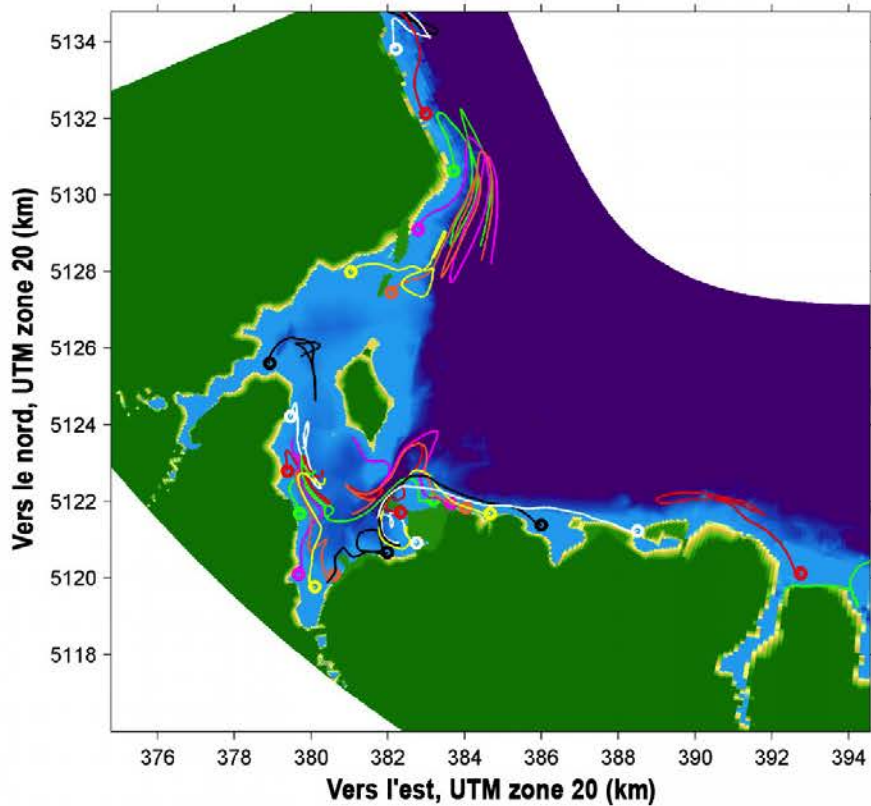


**Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du S.-E., vagues de l'E.**



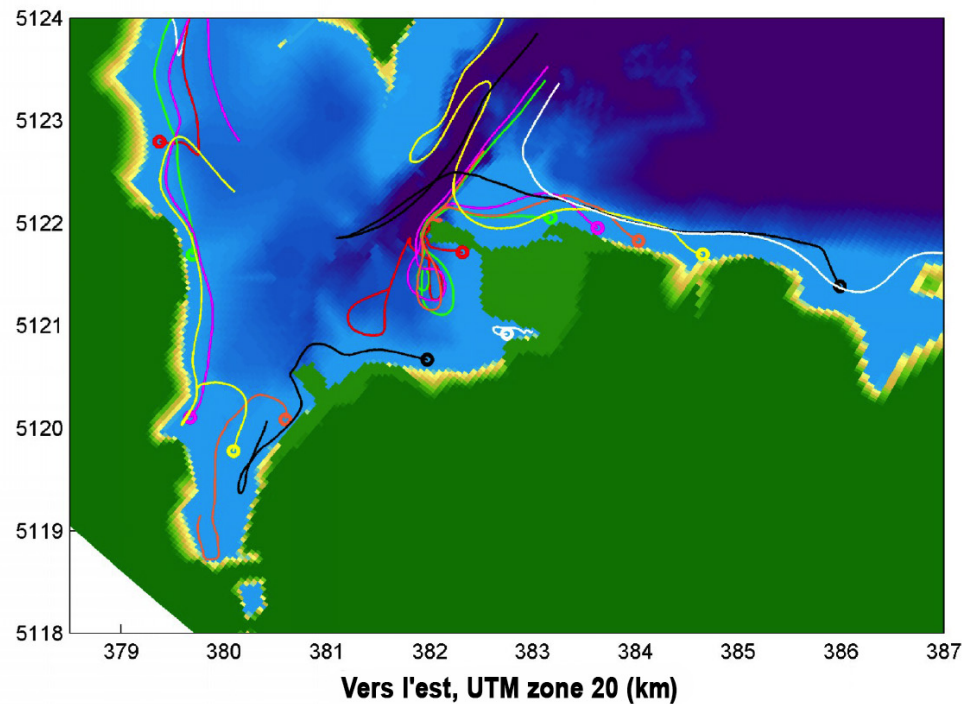
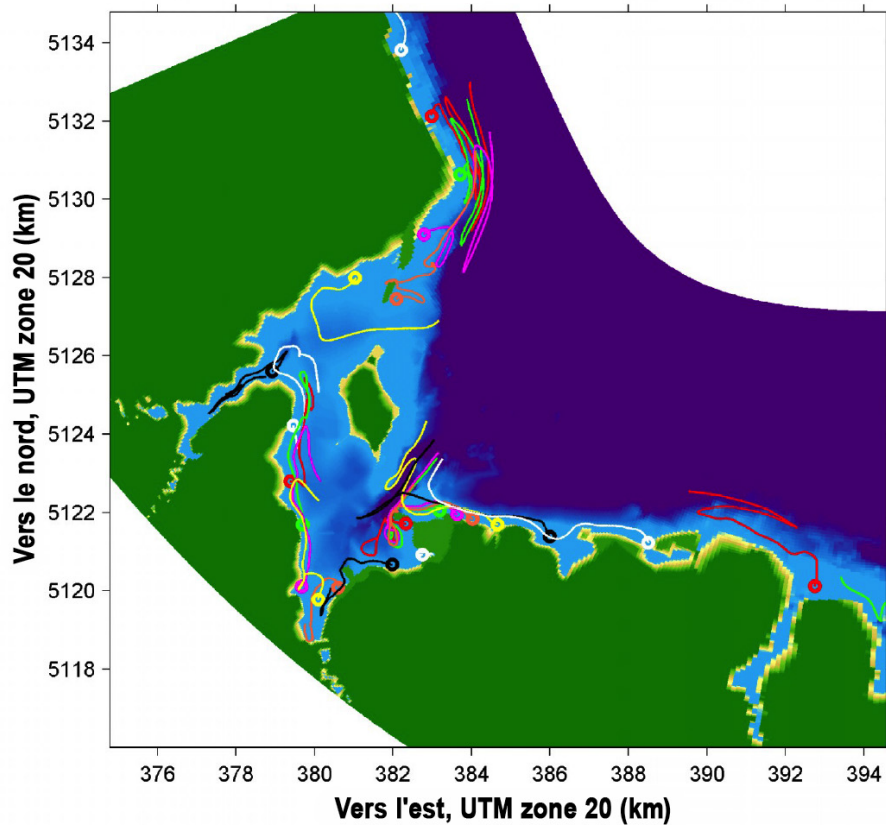
**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

**Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du S.-E., vagues de l'E.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

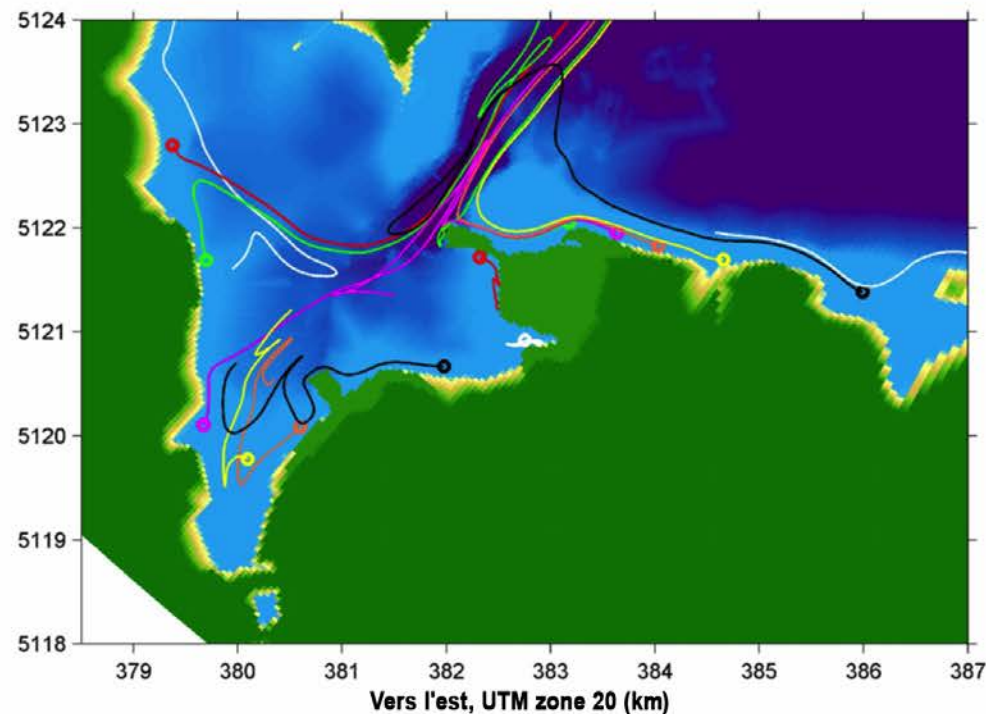
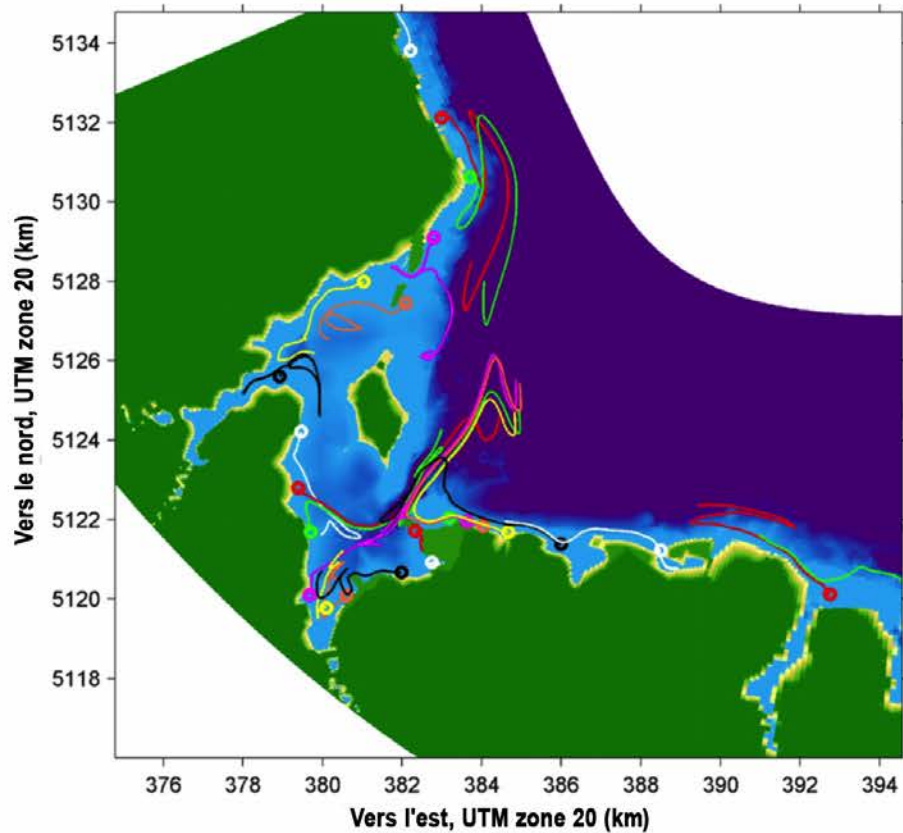
**Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du S.-E., vagues de l'E.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

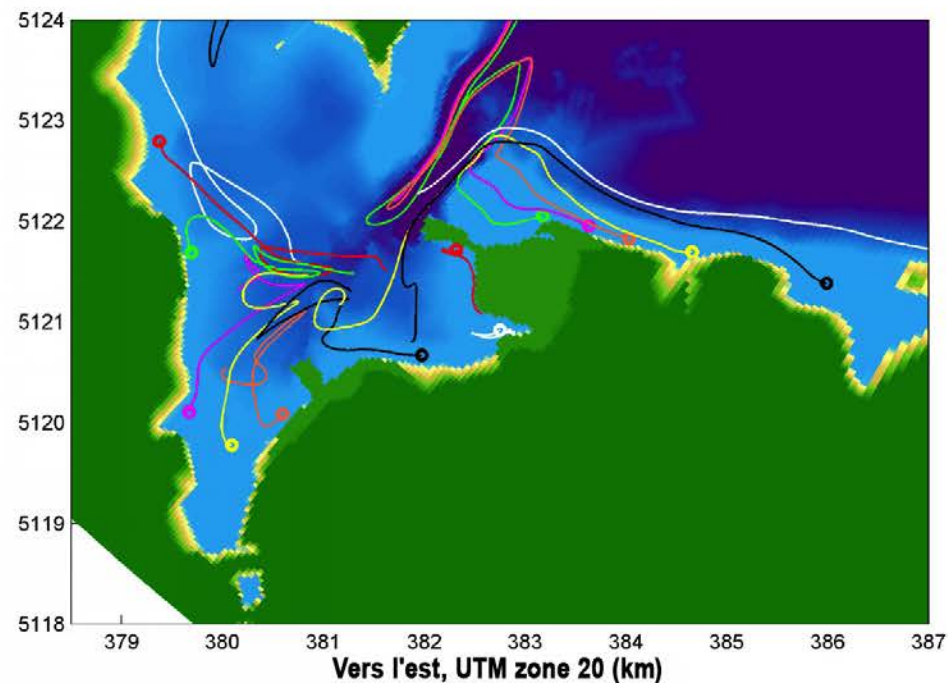
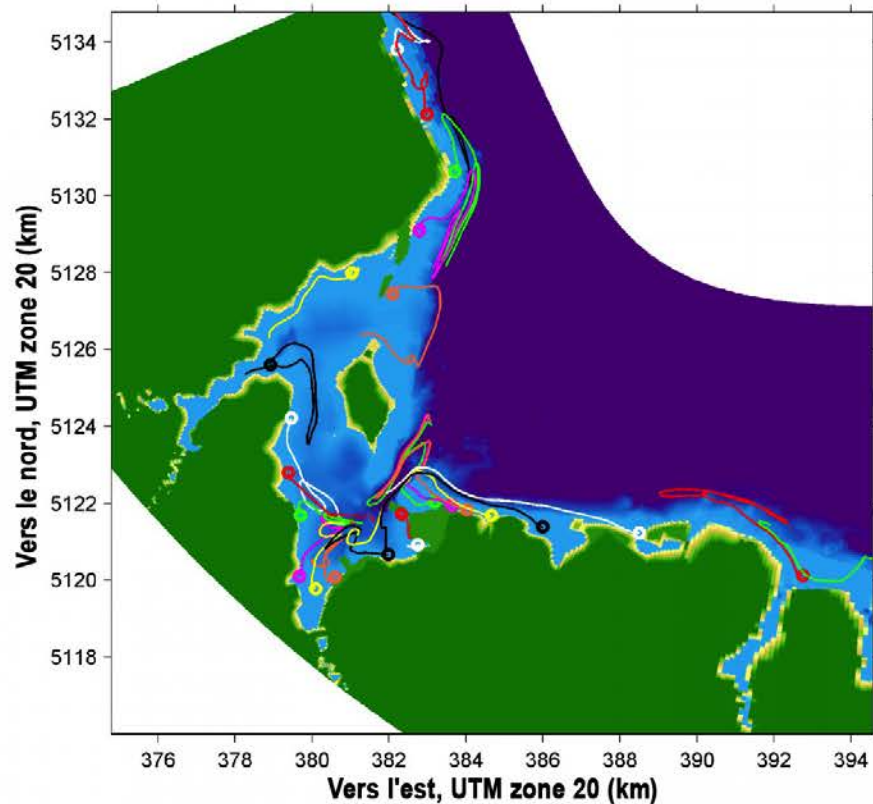


Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

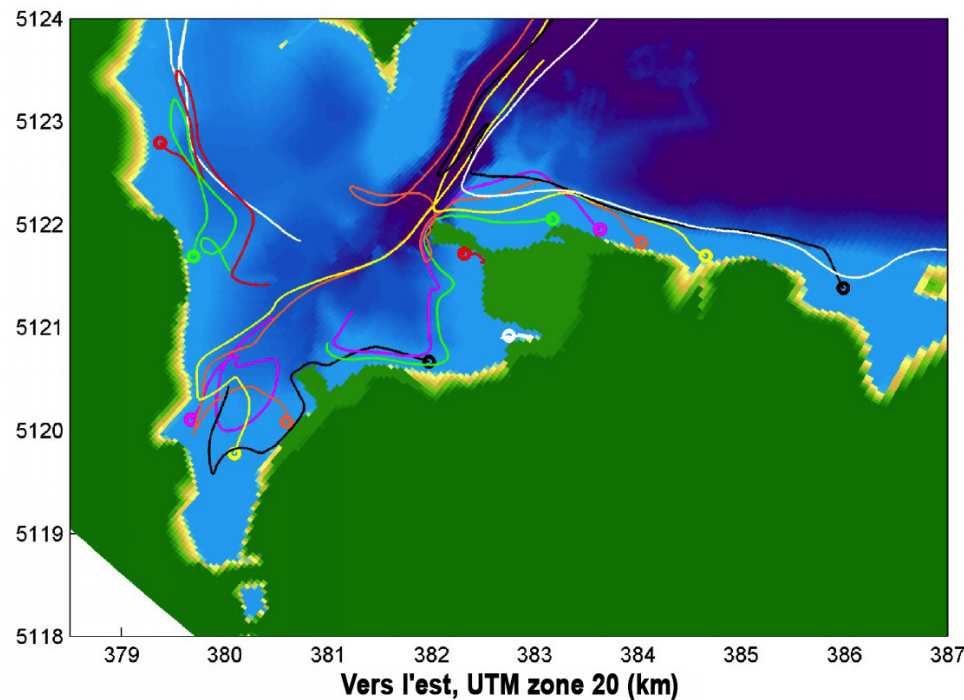
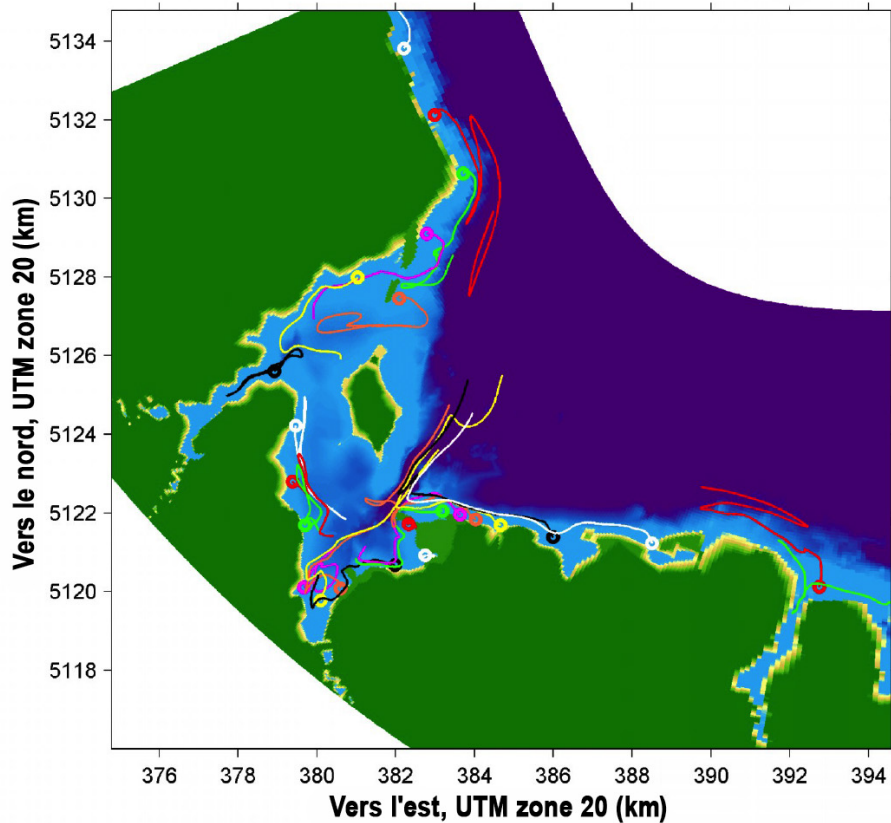
**Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

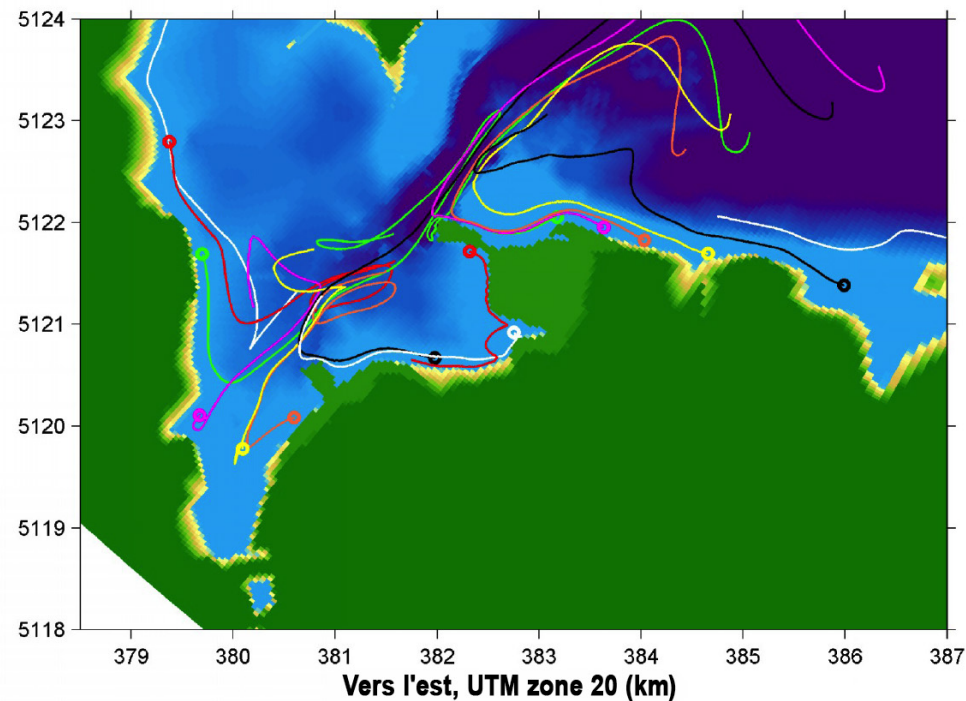
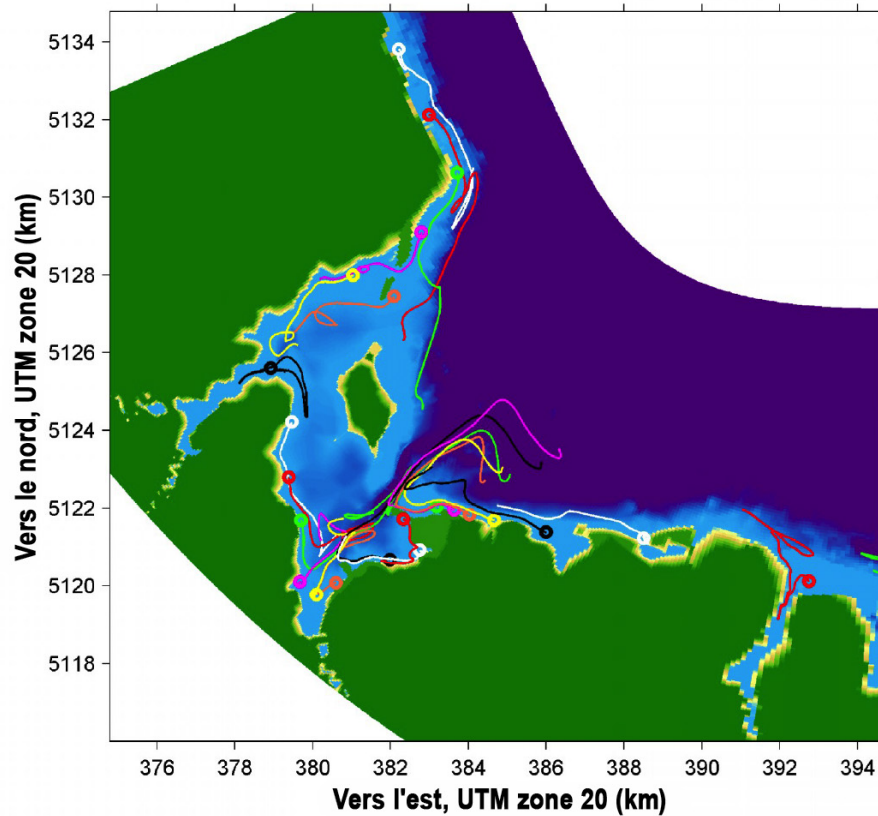


**Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s de l'E., vagues de l'E.**



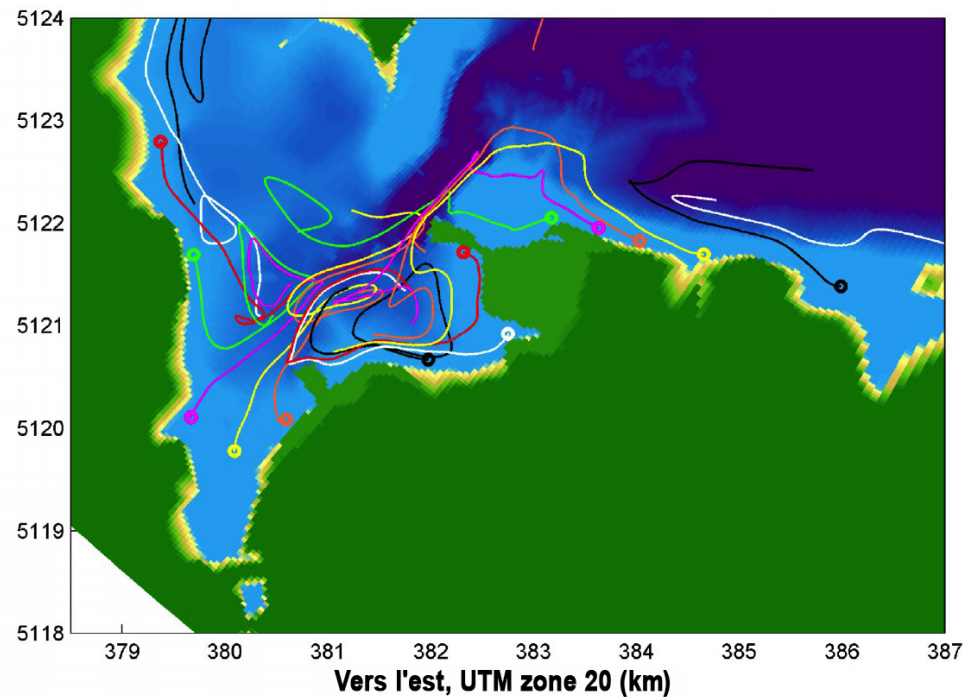
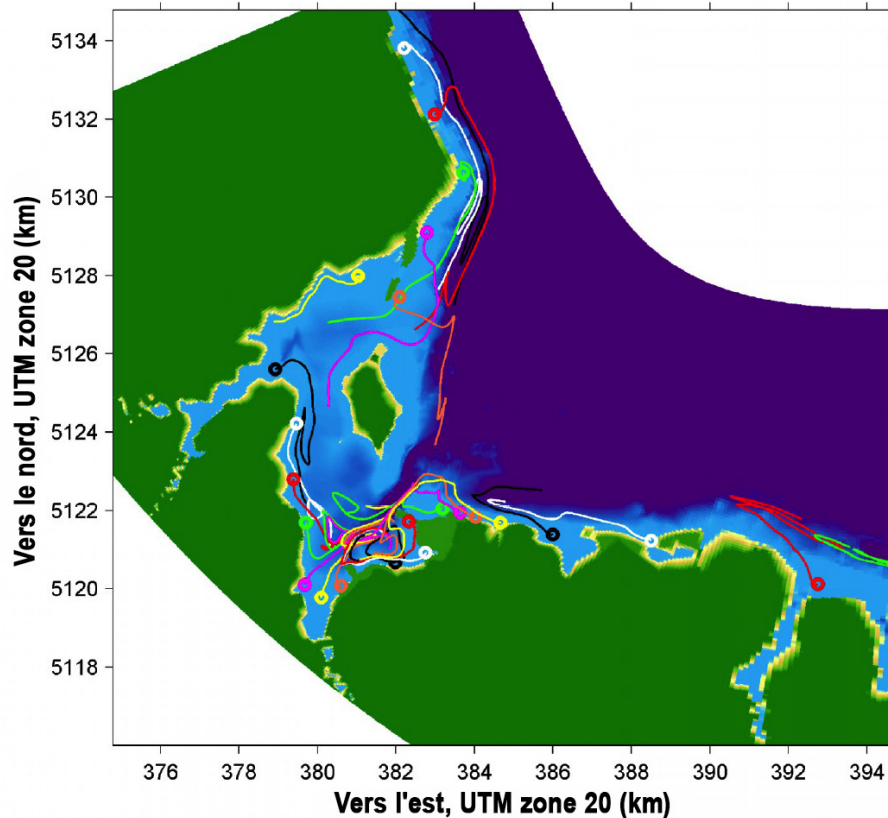
**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

### Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du N.-E., vagues du N.-E.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

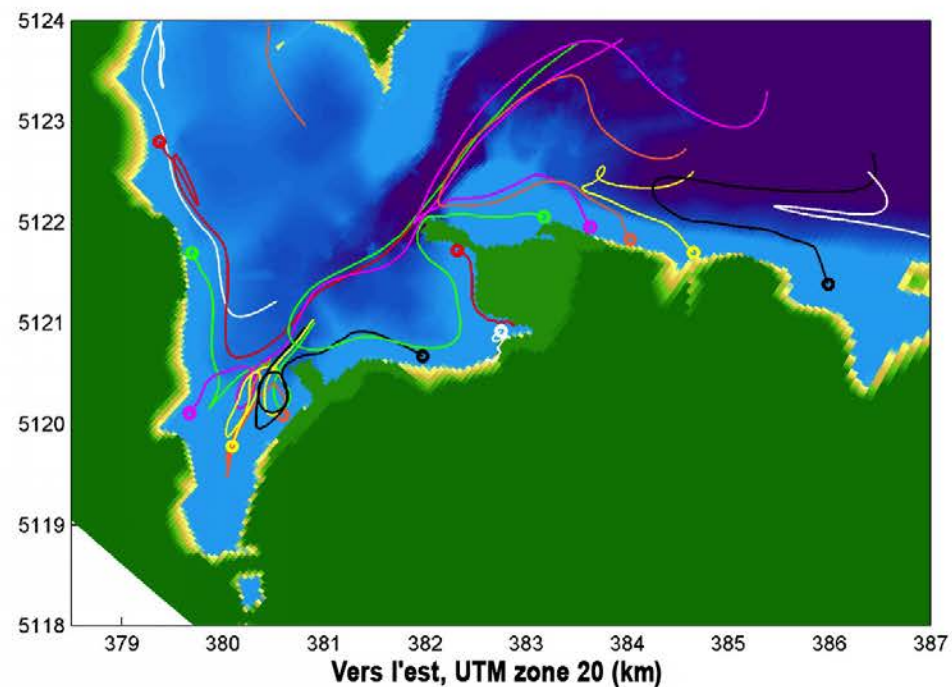
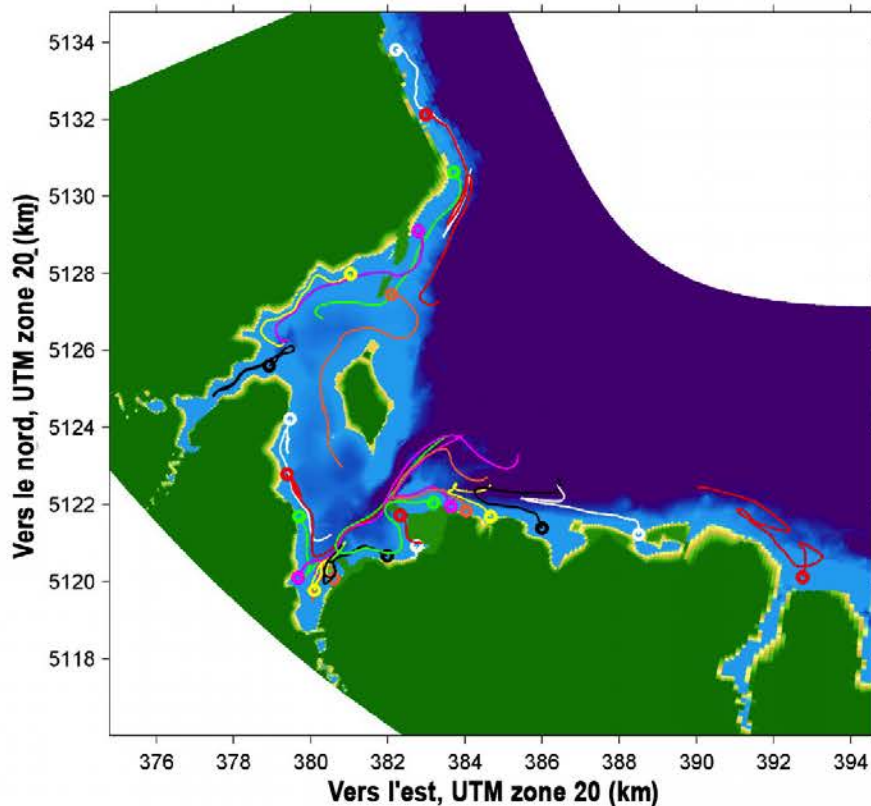
### Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du N.-E., vagues du N.-E.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

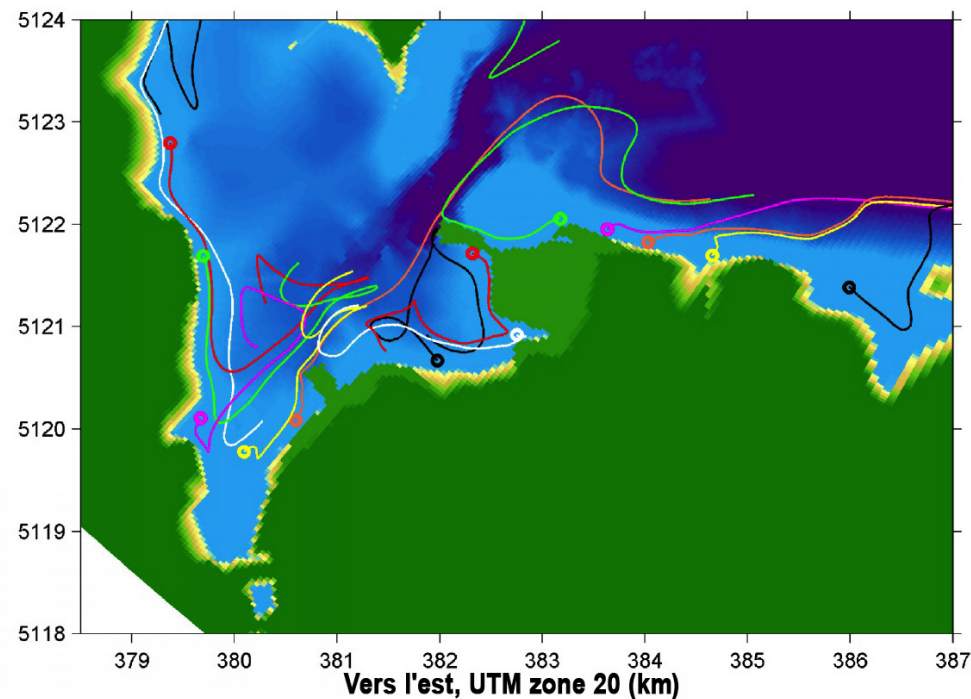
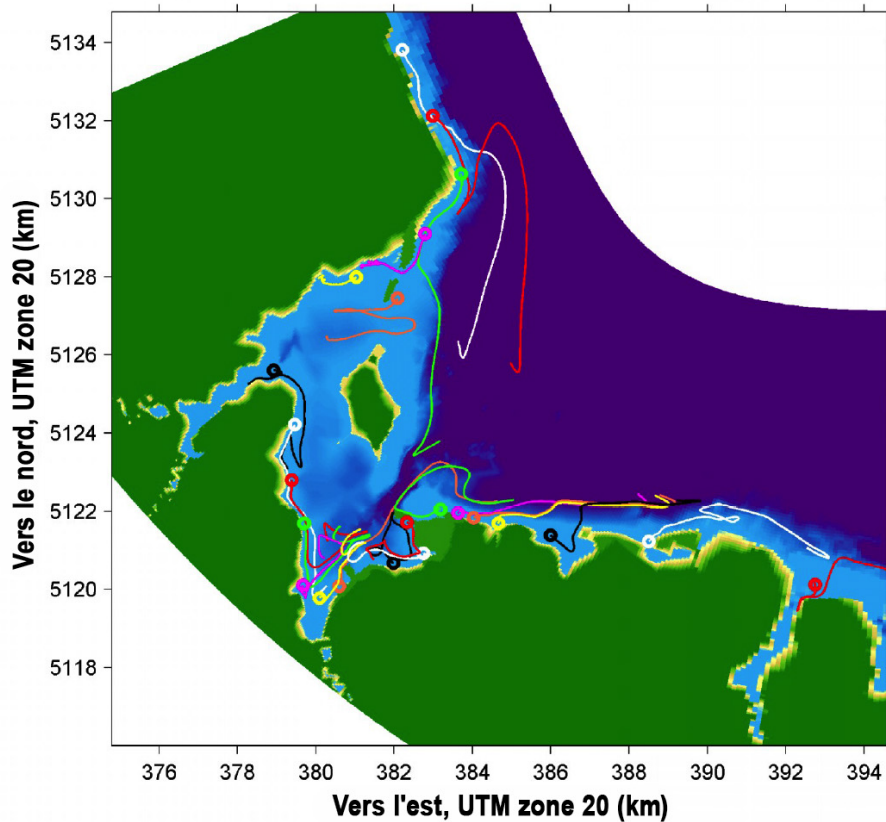


### Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du N.-E., vagues du N.-E.v



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

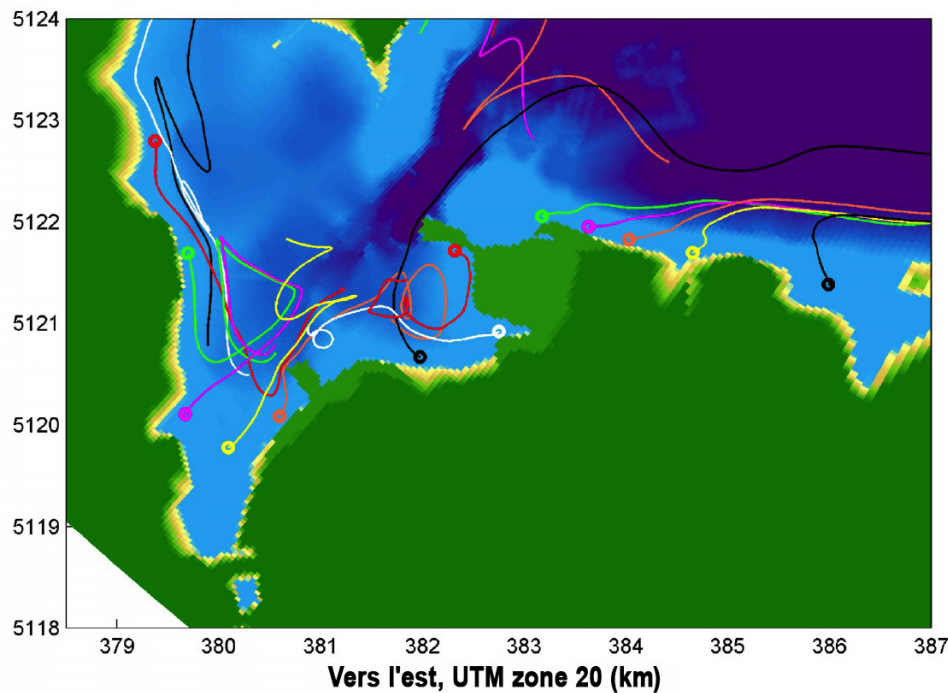
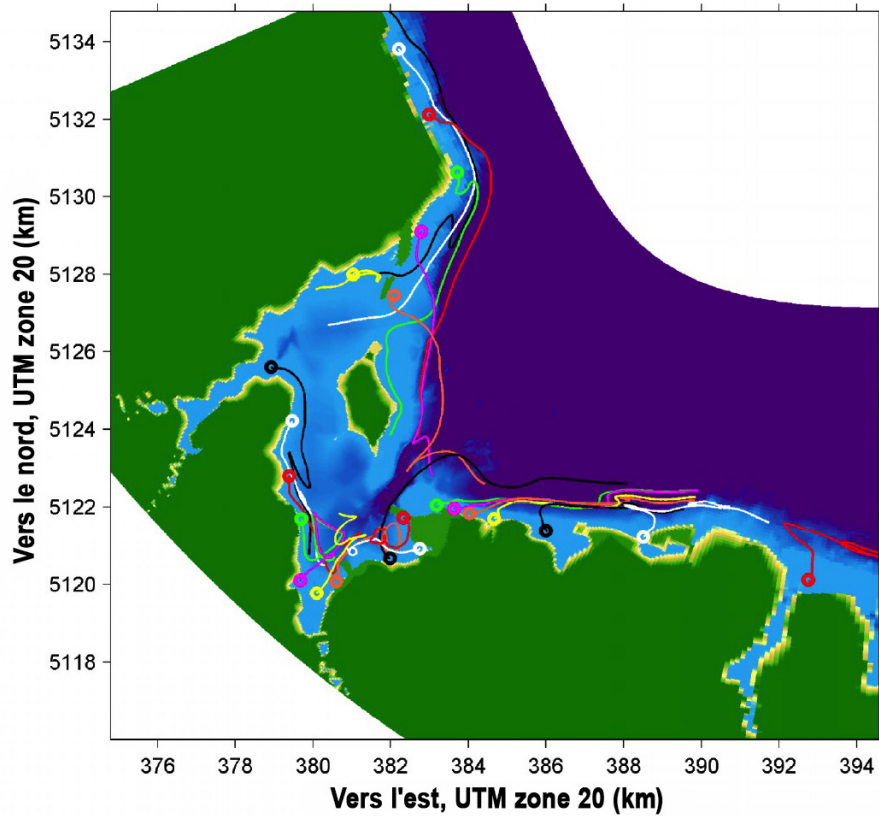
### Modélisation du largage des drogues à 0 h, vents de 6 m/s du N., vagues du N.



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.

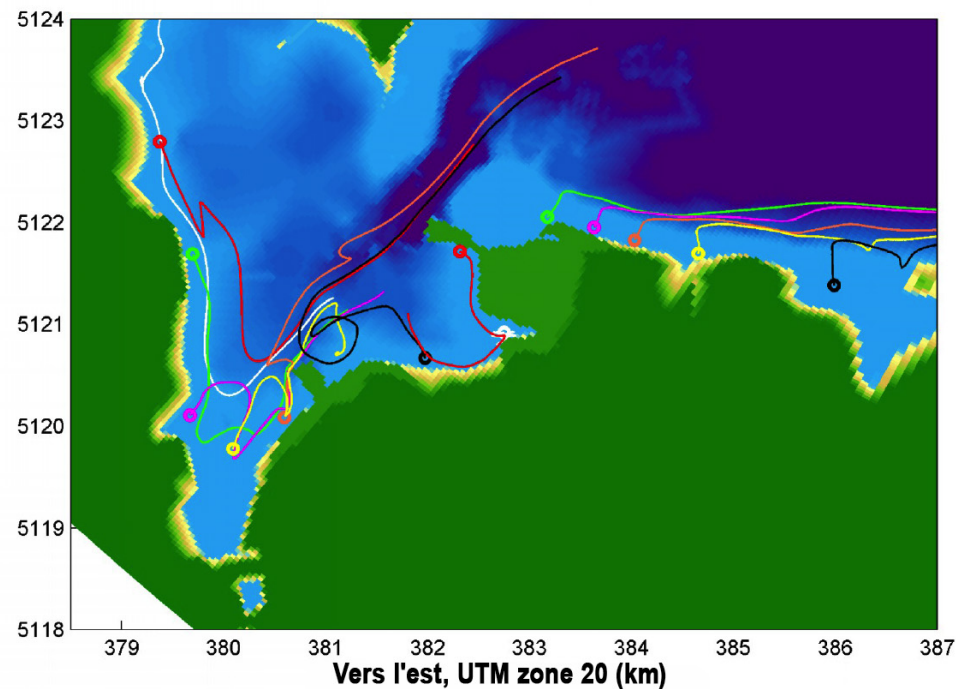
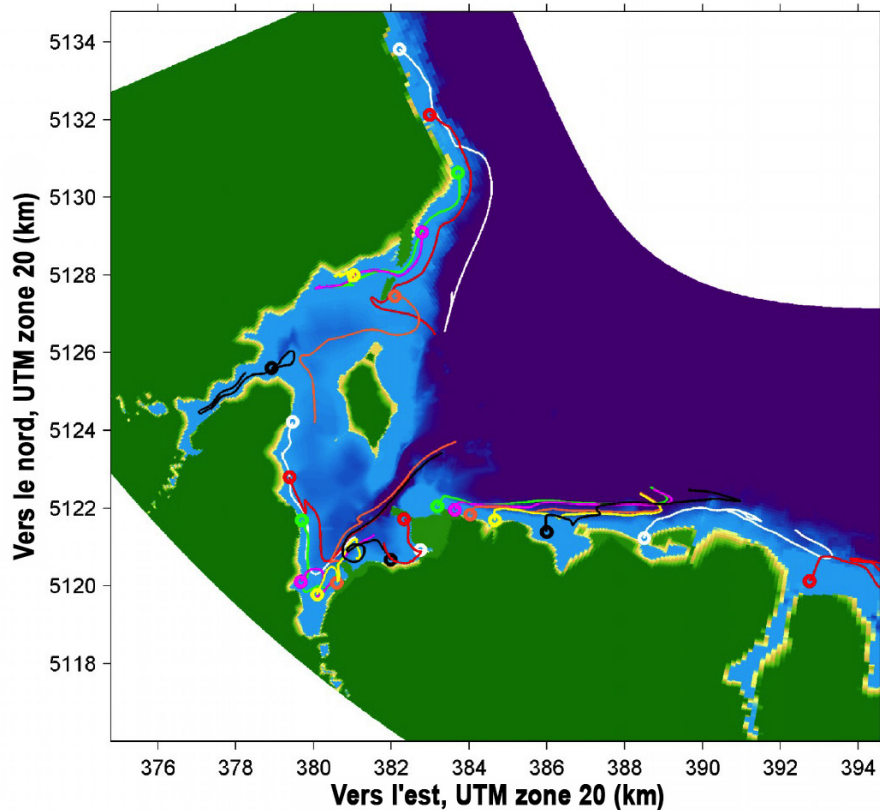


**Modélisation du largage des drogues à 6 h, vents de 6 m/s du N., vagues du N.**



**Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.**

**Modélisation du largage des drogues à 12 h, vents de 6 m/s du N., vagues du N.**



Remarque : Les trajectoires des drogues sont suivies pendant 24 heures. Les points de départ des drogues sont indiqués par des cercles.