



Diploma Eruditionum Altarum Europaeum  
Modélisation de l'Environnement Marin  
SOCRATES / ERASMUS  
2003 / 2004



## Simulation de l'influence des apports des bassins versants sur les concessions ostréicoles de la Baie des Veys (Baie de Seine occidentale)

**Karine Grangeré**

Sous la direction de :

**M. Cédric BACHER**  
IFREMER Centre de Brest  
Département Ecologie Côtière DEL/EC

**M. Philippe RIOU**  
IFREMER Station de Port-en-Bessin  
Laboratoire Environnement Ressource de Normandie LER/N

**Ifremer**

*Universidad  
de Las Palmas  
de Gran Canaria*

*Universitat  
de les Illes  
Balears*

*Université de  
Liège  
(coordinateur)*

*Université de  
Bretagne  
Occidentale Brest*

*Université de  
Corse  
Pascal Paoli*

*Université  
Pierre et Marie Curie  
Paris VI*

*Universidade  
Nova de Lisboa*

*Universitat  
Politécnica  
de Catalunya*

*Universidade Técnica  
de Lisboa*

## Remerciements

*En premier lieu, je tiens à remercier tous les enseignants du DEA de modélisation pour leur disponibilité et leur patience tout au long de ces quelques mois passés à Liège. La qualité de leurs enseignements nous a permis d'acquérir les bases nécessaires tant du point de vue des techniques de modélisation et de leurs applications que de celui de la mise en place d'un modèle passant par la définition et la conceptualisation du système qui constituent les étapes essentielles dans la construction d'un modèle.*

*Je remercie sincèrement Hervé Thillaye du Boullay de m'avoir accueillie au sein du laboratoire de Port-en-Bessin, ainsi que Ronan Le Goff, qui m'a permis de réaliser ce stage au sein du LERN. Ronan, merci pour tes corrections sur le rapport.*

*Je tiens aussi à remercier tout particulièrement mes encadrants Cédric Bacher et Philippe Riou, qui m'ont aidée tout au long de mon stage à mener à bien ce travail.*

*Cédric je voulais te remercier de m'avoir accordé ta confiance en acceptant si rapidement de me prendre en stage, et d'avoir toujours su trouver un peu de temps (malgré un emploi du temps quelque peu surchargé) pour m'aider à interpréter mes résultats et pour répondre à mes questions souvent nombreuses et parfois naïves.*

*De la même manière, Philippe je voulais te remercier pour ta disponibilité tout au long de ce stage, notamment avec le modèle qui ne se décidait pas souvent à fonctionner correctement, et pour avoir toujours su trouver du temps pour répondre à mes questions et régler mes problèmes.*

*J'adresse aussi mes plus sincères remerciements à Franck Dumas pour toute l'aide qu'il m'a apporté au cours de ce stage. Franck je te remercie pour tout le temps que tu m'as accordé et que tu n'avais pas. C'était vraiment très sympa de travailler avec toi.*

*J'en profite pour remercier aussi toute l'équipe de DEL/AO qui m'a beaucoup aidée au cours de ce travail, et notamment Jean-François Le Roux qui a toujours su me dépanner quand le modèle se mettait à faire des choses que je ne comprenais pas.*

*Je tiens aussi à remercier Michel Ropert pour m'avoir fait partager sa connaissance de la baie des Veys et son expérience du terrain, ainsi qu'Anne Daniel pour son aide au moment de l'analyse de mes résultats.*

*Je souhaite aussi remercier Annie Fiandrino de la station Ifremer de Sète pour nous avoir accueilli si gentiment et pour m'avoir (bien) aidée à traiter les données ADCP.*

*Je voulais aussi remercier Franck Maheux et Michel Kerdreux pour l'aide qu'ils m'ont apporté au cours des mesures ADCP, et surtout pour m'avoir supporté pendant plus de 12 heures bloqué sur un petit bateau de 6,30 m à écouter mes blagues débiles et à m'apprendre à faire des nœuds marins... mais maintenant je suis trop la meilleure, je les connais tous... les trois !!!*

*Je souhaite aussi adresser mes plus vifs et plus affectueux remerciements à toute l'équipe de la station de Port-en-Bessin pour m'avoir si gentiment accueillie, et notamment tous les CDD sans qui les week-end auraient été un peu long : Floriane et chéri-chéri, Fabienne (promis dès que je vais à New-York, je m'arrête à Belle-Isle), Anso (the snake), Sylvaine, Laurent et tous ceux que j'oublie.... euh...ah oui, j'oubliais ma petite colocatrice de bureau ; Morgane, bien que ça n'ai pas été toujours facile de te supporter !!! je dois dire que c'était vraiment très sympathique de partager ces quelques mois avec toi dans le buro...euh, et puis chez tes parents aussi, euh... et puis chez toi, et chez toi quand t'étais pas là aussi... enfin, bref, merci pour tout tite gnagnasse et puis surtout pour ces petites soirées si sympathiques passées à faire n'importe quoi...*

*Finalement, j'ai passé une année à me balader pas mal en France et en Belgique et après ces quelques mois passés à bouger pas mal je comprends mieux ce que ressent un escargot à voyager avec sa maison sur dos (enfin, plutôt dans sa voiture dans mon cas !!!), c'est pourquoi je voulais adresser mes plus chaleureux remerciements à toutes les personnes qui m'ont si gentiment accueillie dans leur maison et parfois dans leur vie, que ce soit à Liège chez mes petits belges préférés François, Marie-Anne et leurs enfants Nicolas et Victoria, à Villefranche-sur-mer (chez papa, maman eh oui !!!! merci à tous les deux pour votre soutien), à Bayeux où j'ai un peu squatter à droite à gauche des apparts ou des matelas ou encore à Brest où je remercie Elisabeth, Hervé, Tanguy, Delphine, Céline, Alice et Romain. Merci à tous, c'était très agréable de partager une partie de vos vies.*

# SOMMAIRE

<b>I. Introduction</b> .....	1
<b>II. Matériel et Méthodes</b> .....	3
1. CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE : LA BAIE DES VEYS .....	3
1.1. Situations géographique et climatique .....	3
1.2. Structure morphosédimentaire .....	4
1.3. Caractéristiques hydrodynamiques .....	4
1.4. Structure des bassins versants .....	6
1.5. La conchyliculture en baie des Veys .....	7
2. SYNTHÈSE DES MODELES EXISTANT SUR LA ZONE .....	8
2.1. Le modèle SiAM 3D .....	8
2.2. Le modèle SOGREAH .....	8
3. LE MODELE HYDRODYNAMIQUE MARS .....	9
3.1. Le modèle MARS-2D .....	9
3.1.1. Caractéristiques générales .....	9
3.1.2. Le modèle hydrodynamique .....	9
3.1.3. Le schéma numérique de résolution .....	11
3.1.4. Le critère de stabilité du schéma numérique .....	12
3.1.5. Les conditions aux limites .....	12
3.2. Le modèle Est COTentin (ECOT) .....	13
3.2.1. Emprise du modèle et conditions aux limites .....	13
3.2.2. Caractéristiques du modèle .....	14
3.2.3. Les forçages extérieurs .....	15
4. ACQUISITION DE DONNEES TERRAIN .....	16
4.1. Données de hauteur d'eau .....	16
4.2. Mesures du courant .....	16
5. PRESENTATION DES SIMULATIONS .....	17
5.1. Présentation des différents scénarii .....	17
5.1.1. Etude du débit .....	18
5.1.2. Etude du vent .....	18
5.2. Etude de l'hydrodynamisme .....	19
5.2.1. Calcul de trajectoire .....	19
5.2.2. Estimation du temps de résidence .....	19
<b>III. Validation du modèle Ecot dans le secteur de la baie des Veys</b> .....	21
1. RESULTATS .....	21
1.1. Validation du modèle sur les hauteurs d'eau .....	21
1.1.1. Comparaison modèle-mesure .....	21
1.1.2. Influence du coefficient de frottement .....	23
1.2. Validation du modèle sur les courants .....	24
1.2.1. Validation du modèle .....	24
1.2.2. Caractérisation des courants dans le secteur de la baie des Veys .....	25
1.2.3. Sensibilité des courants aux variations des conditions aux limites .....	26
2. DISCUSSION .....	27
<b>IV. Simulation des scénarii d'apports par les bassins versants</b> .....	29
1. RESULTATS .....	29
1.1. Variations spatiales à l'échelle de la baie .....	29
1.1.1. Influence du débit .....	30
1.1.2. Influence de la vitesse du vent .....	30
1.1.3. Influence de la direction du vent .....	31
1.2. Variations spatio-temporelles au niveau de la zone des parcs .....	31
1.2.1. Variations temporelles sur les points de suivi .....	31
1.2.2. Estimation de la dilution des apports par Isigny et par Carentan sur la zone des parcs .....	33
1.3. Etude de l'hydrodynamisme .....	36
1.3.1. Calcul de trajectoires .....	36
1.3.2. Estimation des temps de résidence .....	37

2. DISCUSSION.....	38
2.1. <i>Influence de la variation des conditions aux limites sur la répartition des masses d'eau dans la baie</i> .....	38
2.2. <i>Variations de la salinité et des traceurs sur la zone des parcs à l'échelle du cycle de marée</i> .....	39
2.3. <i>Caractérisation de l'hydrodynamisme dans la baie</i> .....	41
<b>V. Conclusion et Perspectives.....</b>	<b>43</b>
<b>VI. Bibliographie.....</b>	<b>44</b>

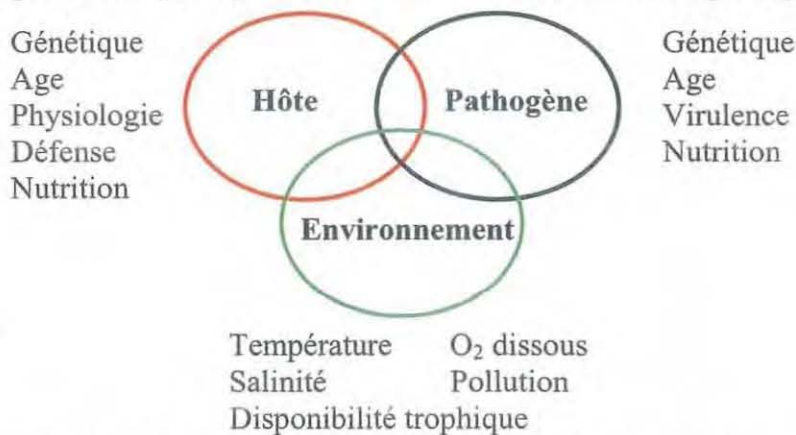
# I. Introduction

Depuis les années 1940, des phénomènes de mortalités massives des juvéniles de l'huître creuse *Crassostrea gigas* ont pu être observés en période estivale. Ces phénomènes sont relayés par la littérature dans différentes zones de production ostréicole à travers le monde (Japon, côte Ouest des Etats-Unis). En France, ils touchent de façon significative certaines zones de production depuis 1990. Variables selon les années, les pertes peuvent atteindre 50 % des juvéniles mis en élevage (naissain de 5 à 18 mois) et à un moindre degré, des individus proches de la commercialisation (adultes de 2 ans ou plus).

Ainsi, ces mortalités ont des répercussions économiques importantes pour les exploitants mettant en cause la pérennité de leurs entreprises.

C'est dans ce contexte que l'Ifremer a lancé en 2001 un projet pluridisciplinaire : le programme MOREST (MORTALITÉS ESTIVALES) dont le but est d'identifier les principales causes conduisant aux phénomènes de mortalités observés.

Les premiers travaux réalisés ont montré que ce phénomène ne pouvait pas s'expliquer par la seule présence d'un agent pathogène (virus ou bactérie). En revanche, ceux-ci ont mis en évidence une très forte implication de la période reproductive et de son intensité chez l'huître. Ainsi, pendant sa phase de reproduction, l'animal ne disposerait plus des ressources énergétiques suffisantes pour lutter contre une agression du milieu. Ceci implique que les phénomènes de mortalités ne seraient pas attribuables à un seul facteur mais à la conjonction de plusieurs paramètres. C'est pourquoi, l'hypothèse de départ retenue dans le cadre du programme MOREST est que ces mortalités résulteraient des interactions complexes existant entre trois compartiments principaux : l'environnement, l'hôte et les pathogènes.



Les premiers résultats obtenus ont permis d'identifier un premier ensemble de facteurs de risques : un facteur génétique, l'intensité et la durée de l'effort de reproduction, le niveau trophique du milieu et une température supérieure à 19°C. Ces différents facteurs affecteraient le système immunitaire de l'animal. De plus, différents stress environnementaux seraient susceptibles d'amplifier le phénomène.

La présente étude rentre dans le volet environnement de ce programme, dont les objectifs sont de caractériser les différents stress environnementaux et leurs impacts sur les zones ostréicoles.

Trois sites ostréicoles ayant subi d'importants épisodes de mortalités au cours des dernières années ont été choisis comme sites ateliers : le bassin de Marennes-Oléron, la rivière d'Auray en Atlantique et la baie des Veys en Manche. C'est sur ce dernier site que cette étude a été réalisée.

L'historique des mortalités en baie des Veys montre que celles-ci interviennent généralement entre le mois de juillet et le mois de novembre, à l'exception des années 1998/1999 pour lesquelles elles ont démarré après l'été pour s'exprimer durant tout l'hiver. Les principaux épisodes de mortalités de ces dix dernières années ont conduit à des pertes allant de 17,5 à 40 % de la biomasse totale en élevage (Ropert *et al.*, 2003).

Actuellement, l'étude des mortalités en baie des Veys s'oriente vers la mise en place d'un modèle d'écosystème intégrant les processus écophysologiques de l'huître (allocation d'énergie) et les processus environnementaux. Le but de ce modèle est de pouvoir caractériser l'état physiologique de l'huître (soma, réserves, dépense métabolique) en fonction des facteurs environnementaux.

C'est dans ce cadre que Misko (2003) a réalisé une étude portant sur les apports terrigènes en baie des Veys. L'objectif de ce travail était d'évaluer les débits des principales rivières débouchant en baie et de quantifier les flux de différentes substances d'origine terrigène (nitrates, ammonium, phosphate, matières en suspension) associés à ces rivières. L'estimation de ces différents paramètres a été réalisée dans le but de fournir des conditions aux limites pour les modèles développés en baie des Veys.

C'est dans la continuité de ce travail que s'inscrit cette étude, avec comme objectif principal de caractériser l'influence des apports des bassins versants sur les concessions ostréicoles de la baie des Veys. Ce travail constitue une première étape dans la détermination des facteurs environnementaux susceptibles d'être mis en cause dans les phénomènes de mortalité.

Cette étude a été réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique à 2 dimensions horizontales développé par l'IFREMER et par SEAMER<sup>1</sup>. Ce modèle permet de calculer les courants moyens sur la verticale, les hauteurs d'eau et la concentration moyenne (sur la verticale également) de toute substance transportée par la masse d'eau.

Préalablement à la réalisation de simulations de différents scénarii d'apports des bassins versants, la première partie de ce travail a consisté à effectuer une validation de ce modèle dans le secteur de la baie des Veys. Pour cela, le modèle a été confronté à des mesures de courant (vitesse et direction) réalisées aux environs de la baie et à des données de hauteur d'eau obtenues par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

Dans la seconde partie de ce travail, différentes simulations ont été réalisées afin d'étudier quelles influences les apports des bassins versants peuvent avoir sur les concessions ostréicoles. Pour cela, différents scénarii ont été testés en faisant varier d'une part les conditions de débit et d'autres part les conditions de vent. De plus, l'injection de traceurs conservatifs dans les différentes rivières a permis d'estimer l'influence respective de ces rivières sur les zones ostréicoles.

---

<sup>1</sup> Société d'étude et de conseil en Environnement Hydraulique Marin. Le modèle a été développé dans le cadre du contrat de Plan Etat Région de Basse-Normandie (2000/2006) en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, le conseil Régional, et les conseils Généraux du Calvados et de la Manche/SMEL.

## II. Matériel et Méthodes

### 1. Caractéristiques de la zone d'étude : la baie des Veys

#### 1.1. Situations géographique et climatique

La Baie des Veys (baie de Seine occidentale) est le troisième espace estuarien du littoral de la Manche après la baie de Seine et la baie de Somme. Située à l'intersection entre les départements de la Manche et du Calvados, elle est orientée nord nord-est par rapport au milieu marin (figure 1). Elle forme une vaste échancrure de 6 km de largeur qui reçoit les apports de deux couples de rivières, la Vire et l'Aure qui confluent dans le chenal d'Isigny à l'est et la Taute et la Douve qui se rassemblent dans le chenal de Carentan à l'ouest.

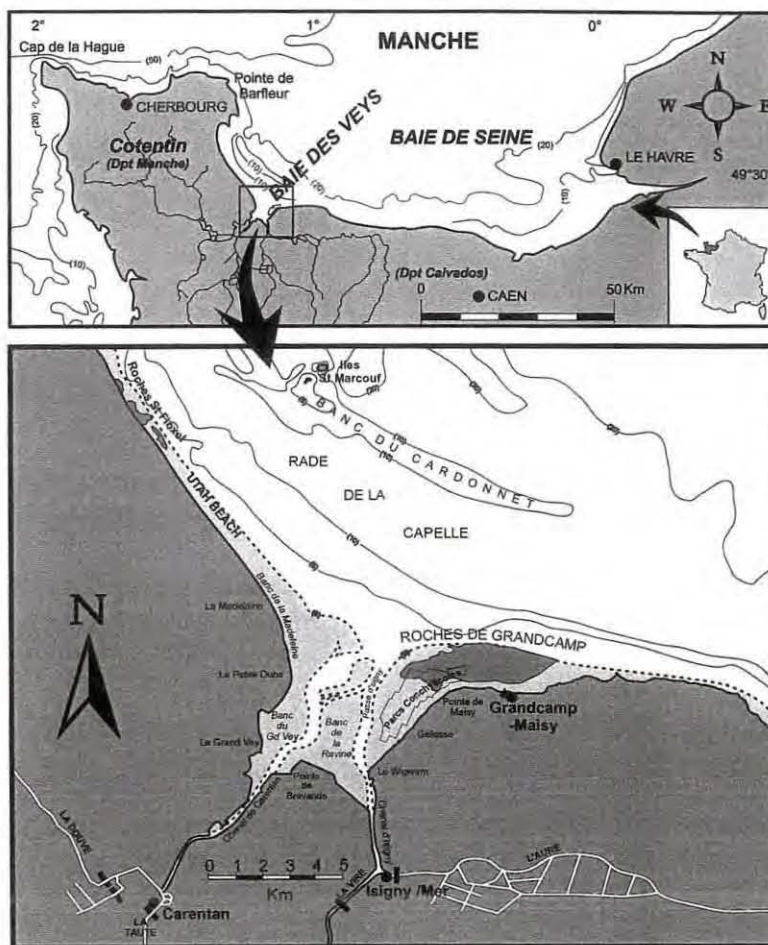


Figure 1 : Situation géographique de la Baie des Veys (baie de Seine Occidentale) (Ropert, 1999).

Du point de vue climatique, la baie des Veys et son bassin versant bénéficient d'un climat tempéré océanique (Godefroy *et al.*, 1997). La pluviométrie est certainement le paramètre météorologique qui a le plus d'influence sur la qualité des eaux de ce secteur. Elle est inégalement répartie sur le bassin versant de la baie avec des valeurs qui varient spatialement (700 à 1200 mm.an<sup>-1</sup> selon les secteurs) (Misko, 2003) et temporellement (l'essentiel des pluies étant observées en automne et en hiver).

## 1.2. Structure morphosédimentaire

La baie des Veys présente une zone intertidale de 37 km<sup>2</sup> (Sylvand, 1995) caractérisée par un double système de chenaux partageant cette zone en trois secteurs :

- ✓ Le flanc ouest est bordé par un couloir de transport (barres de déferlement) qui prolonge la plage d'Utah Beach (est cotentin). Cette zone est caractérisée par la présence de deux bancs sédimentaires, le banc de la Madeleine au nord et le banc du grand Vey au sud. Ce dernier est une slikke estuarienne sablonneuse plus ou moins envasée limitée vers l'est par le chenal de Carentan.
- ✓ La zone centrale, limitée au sud par la Pointe de Brévands s'étend vers le nord entre les chenaux de Carentan et d'Isigny. Le fond de baie est occupé par des vasières colonisées par un schorre en extension. Au nord de celui-ci s'étend une vaste slikke sablonneuse (banc de la Ravine) enserrée par les passes de Carentan à l'ouest et d'Isigny à l'est.
- ✓ Le flanc est, bordé le long du trait de côte par un cordon de galets est de nature sablonneuse dans sa partie sud et centrale (banc de la Rouelle). Il est isolé au sud et à l'ouest par le chenal d'Isigny et se prolonge vers le nord-est par un vaste platier rocheux calcaire, les Roches de Grandcamp. C'est sur ce secteur que s'est développé l'essentiel de l'activité conchylicole de la baie des Veys depuis le milieu des années 1960 (Kopp *et al.*, 1991).

## 1.3. Caractéristiques hydrodynamiques

Dans la zone est cotentin, la dynamique des masses d'eaux est influencée par deux facteurs principaux : la marée et la circulation induite par le vent.

Au niveau du plateau continental du nord-ouest de l'Europe, l'onde de marée est de type semi-diurne. Les composantes principales de la marée sont les ondes M2 (onde semi-diurne lunaire) et S2 (onde semi-diurne solaire), dont la combinaison donne une marée semi-diurne appelée D2.

Sous l'influence du rétrécissement imposé aux courants de marée dans la Manche par la presqu'île du Cotentin, les courants résiduels adoptent un parcours en vortex (Salomon et Breton, 1991).

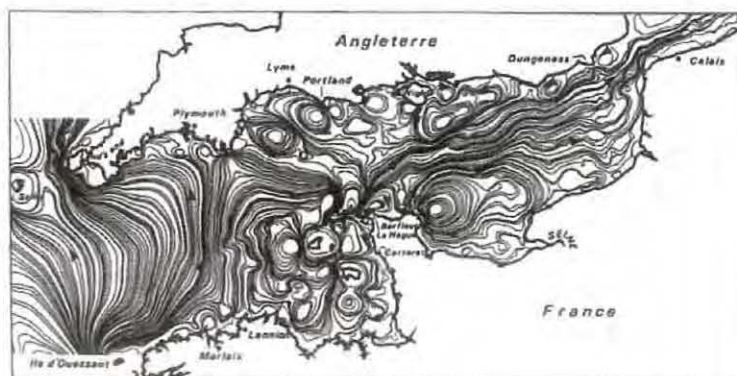


Figure 2 : Trajectoires à long terme des masses d'eau en fonction de la marée en Manche (Salomon et Breton, 1991).



En période de vives-eaux, les marées sont caractérisées par un marnage d'environ 8 m à Grandcamp-Maisy (régime macrotidal). Au large de la baie les courants de marée sont alternatifs et parallèles au trait de côte (figure 3). Ils s'orientent vers le sud-est au flot et longent la côte est en descendant de la presqu'île du Cotentin pour pénétrer en baie des Veys. En période de vive-eau, le courant de flot peut atteindre une vitesse de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  à l'entrée des chenaux. Durant le jusant, les masses d'eau vont remonter vers le nord-ouest le long de la côte est du Cotentin. Les vitesses du courant de marée à la sortie de la baie ne dépassent pas  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

La résultante de la courantologie générale de la baie des Veys se caractérise par une circulation cyclonique des masses d'eau.

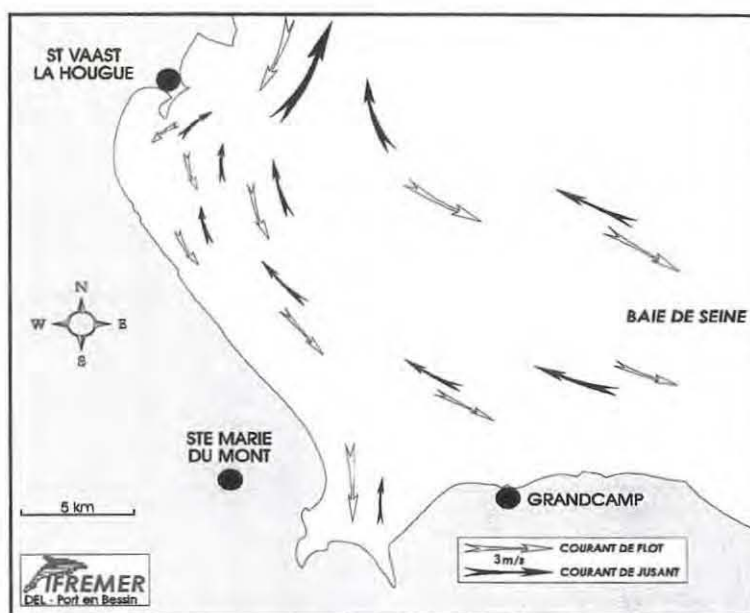


Figure 3: Orientation des courants de marée au large de la baie des Veys au moment du flot et du jusant (d'après Le Gall & Larssonneur, 1972)

Les vents dominants rencontrés en Manche sont essentiellement de secteur ouest, la situation abritée de la baie des Veys derrière la presqu'île du Cotentin la tient à l'abri de ces vents dominants. Cependant, son orientation nord-est l'expose directement aux vents hivernaux de secteur nord-est en provenance de la Manche centrale ou de la Mer du Nord. 50 % des vents rencontrés dans ce secteur ont une vitesse inférieure à  $6 \text{ m.s}^{-1}$  et 12 % ont des vitesses maximales comprises entre 11 et  $30 \text{ m.s}^{-1}$ .

D'un point de vue hydrologique, Lecuyer (1986) a montré que seul les vents de nord sont susceptibles d'améliorer l'état sanitaire en baie des Veys, les vents d'ouest ayant un effet néfaste puisqu'ils rabattent les eaux douces sur les parcs. En fond de baie il semble que la diffusion soit générale quelque soit le vent mais plus rapide pour des vents de secteur sud que de secteur nord.

#### 1.4. Structure des bassins versants

La baie des Veys forme avec les marais du Cotentin et du Bessin un vaste et remarquable éco-complexe constituant le Parc Naturel Régional des Marais (PNR) du Cotentin et du Bessin. Le bassin versant constitué d'un réseau hydrographique dense s'étend sur près de 3500 km<sup>2</sup>. Il parcourt et entretient une surface importante de zones humides qui forment des digitations rayonnant autour de la baie (figure 4).

L'hydrologie du bassin versant de la baie des Veys se résume par les apports de 4 rivières principales : l'Aure, la Vire, la Douve et la Taute qui représente environ 96 % des apports d'eau douce en baie (Anonyme, 2000).

D'une manière générale, les bassins versants des rivières débouchant en baie présentent des altitudes modérées (inférieures à 120 m), à l'exception de la région de la Vire où elles atteignent 360 m. Le bassin amont de la Douve présente également une zone élevée (177 m) mais moins étendue. En revanche, l'aval des 4 bassins versants présentent des zones de polders et de marais caractérisées par de très faibles altitudes. Des portes à flot, situées aux exutoires des 4 rivières, protègent ces marais des invasions marines.

Le bassin versant de la baie des Veys peut-être séparé en deux sous-bassins de taille sensiblement égale : le bassin versant est (Aure et Vire) et le bassin versant ouest (Douve et Taute) (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants de la baie des Veys.

Rivières	Longueur (km)	Dénivelé (m)	Surface (km <sup>2</sup> )	Rapport surface bassin versant / total	Débit moyen (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Débit d'étiage (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Débit de crue (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
Aure	30	120	705	10,5	11,0	0,4	40 à 50
Vire	125	360	1276	40,8	19,0	0,8	150 à 300
Versant est			1945	51,3			
Douve	72,4	177	1075	35,3	16,5	0,7	60 à 80
Taute	38	104	407	13,4	6,3	0,3	50 à 60
Versant ouest			1477	48,7			
Total			3422	100 %			

Le bassin versant de l'Aure se divise en deux parties, le bassin amont (Aure supérieure et Drôme) qui présente une surface d'environ 382 km<sup>2</sup> et le bassin Aval (Aure inférieure) qui présente une surface d'environ 323 km<sup>2</sup>.

L'Aure possède un système hydrologique relativement complexe. Sa particularité est de se perdre au niveau de la fosse Soucy (est de la baie) où se développe un système karstique évacuant jusqu'à 9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Godefroy et Etourneau, 1994) qui sont rejetés en mer aux environs de Port-en-bessin. Ainsi, le bassin de l'Aure supérieure et de la Drôme est, durant la majeure partie de l'année dissocié du bassin aval (Aure inférieure). Ils ne sont connectés qu'en période de hautes eaux par débordement des pertes (Caplet com. Pers.).

C'est pourquoi, seul le bassin aval doit être pris en considération pour caractériser les apports d'eau douce en baie des Veys.

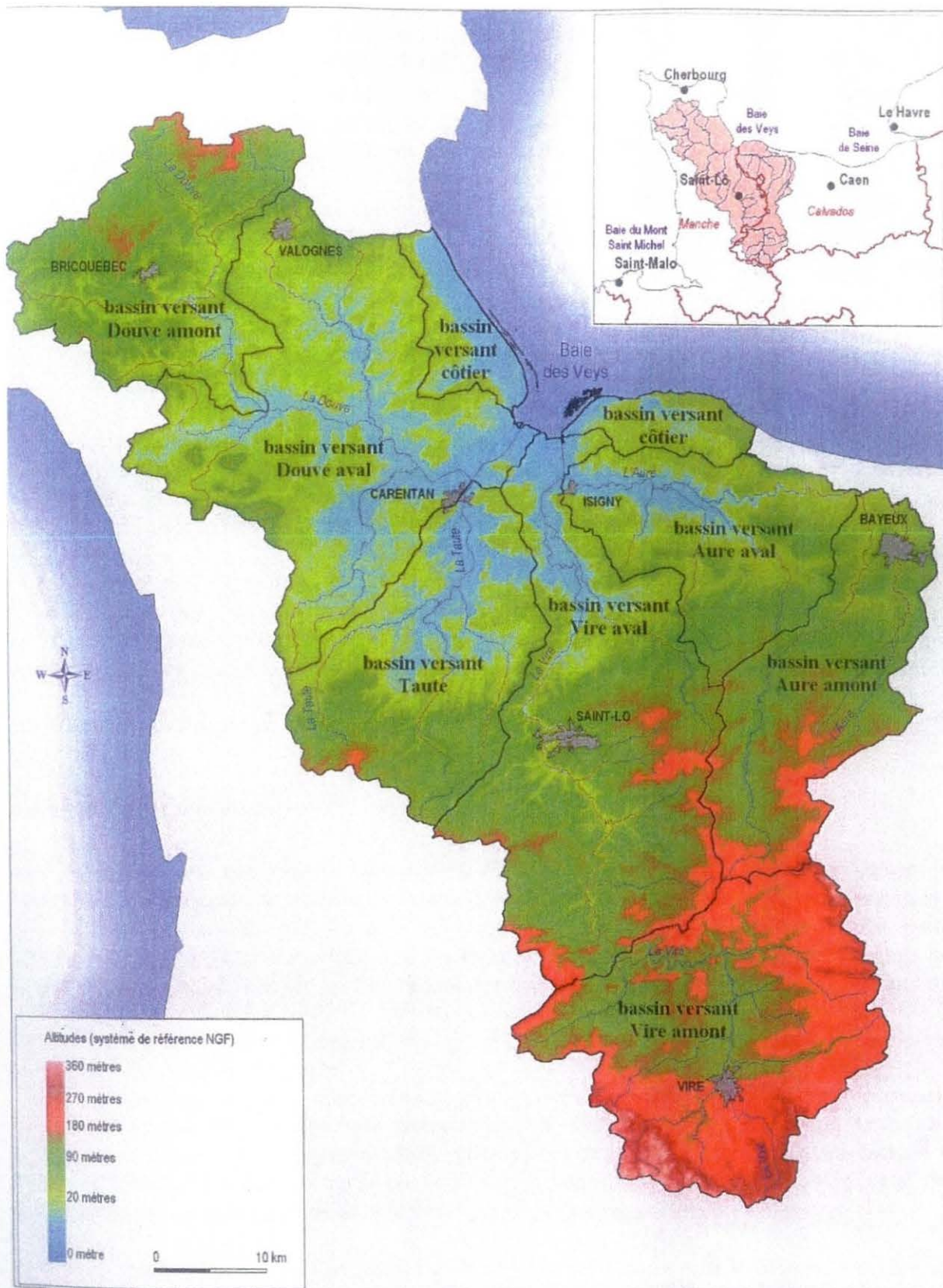


Figure 4 : Situation géographique des bassins versants des 4 principales rivières débouchant en baie des Veys : l'Aure, la Vire, la Douve et la Taute (La baie des Veys et ses bassins versants Atlas, DIREN Basse-Normandie et agence de l'eau Seine-Normandie).

La Vire, avec un bassin versant d'environ 1276 km<sup>2</sup> est la principale rivière débouchant en baie des Veys. Elle prend sa source à une altitude d'environ 360 m dans des roches granitiques. La partie aval de la Vire qui va jusqu'au confluent avec l'Aure traverse les marais du bassin. Le temps de transfert de la source à l'embouchure est d'environ 18 heures en temps de crue. Son débit spécifique d'environ 14 l.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> rend compte de terrains relativement imperméables qui restituent une grande partie de l'eau à l'exutoire.

La Douve est le deuxième apport d'eau douce en baie des Veys. Elle draine un bassin versant d'environ 1075 km<sup>2</sup>, alternant formations sédimentaires et roches du socle primaire. La Taute est une rivière qui draine un petit bassin versant d'environ 407 km<sup>2</sup>. Dans leur partie amont ces deux rivières s'écoulent rapidement et sont de type torrentiel. Puis, leur cour devient plus lent et est de type fluvial dans les marais du Cotentin. Les nappes de l'isthme du Cotentin sont localisées en majeure partie sur les bassins versants de la Taute et de la Douve.

Le couple Aure/Vire arrive en baie des Veys par le chenal d'Isigny sur Mer qui se trouve à une altitude inférieure au zéro des cartes marines, et qui vient déverser ses eaux assez loin en baie. Alors que les eaux du couple Taute/Douve sont canalisées par le chenal de Carentan, qui adopte une forme deltaïque dans le sud-ouest de la baie.

L'existence de marais à l'est comme à l'ouest et la poldérisation d'une partie de l'estuaire sont des caractéristiques importantes de ce bassin versant. Elles induisent la présence d'un grand nombre de petits canaux rattachés à des cours d'eau plus importants qui se jettent dans les chenaux ou directement en baie. Bien que les débits concernant l'ensemble de ces apports ne soient pas identifiés, la proximité de la zone d'estran et les surfaces agricoles ou de marais qu'ils drainent en font probablement des éléments influents sur la qualité de la baie.

### *La conchyliculture en baie des Veys*

Les premiers parcs mytilicoles ont été installés en baie des Veys en 1963, suivis, en 1968 par les premières concessions ostréicoles. Aujourd'hui la baie des Veys est le deuxième site ostréicole normand après la côte ouest du Cotentin. Les huîtres cultivées sur table représentent une surface d'environ 190 ha répartie entre le côté est de la baie, région de Grandcamp-Maisy et de Gêfosse-Fontenay (160 ha) et le côté ouest (30 ha). La production commerciale est estimée à 10 550 T par an pour une biomasse en élevage d'environ 13 100 T. Le captage naturel n'existant pas en baie des Veys, du naissain sauvage ou d'écloserie est utilisé pour ensemercer les parcs.

Malgré une superficie inférieure à la plupart des autres zones ostréicoles françaises, la baie des Veys présente une très forte productivité. En effet, il ne faut que 2 ans et demi pour produire une huître commercialisable dans la baie, alors que 3 à 5 ans sont nécessaires dans le bassin de Marennes-Oléron ou sur la côte ouest du Cotentin. Cette forte productivité explique le niveau de production élevé de la baie par rapport à la biomasse totale en élevage.

La mytiliculture représente au total 40 km de parcs situés principalement à l'ouest de la baie, pour une production annuelle d'environ 2000 T.

Des gisements naturels de coques sont également exploités dans le sud de la baie par des pêcheurs à pied professionnels pour une production oscillant entre 2000 et 3000 T par an.

Ainsi, la production conchylicole et plus particulièrement la production ostréicole constitue un secteur clé de l'activité économique de la région.

## 2. Synthèse des modèles existant sur la zone

Le modèle MARS 2D utilisé dans cette étude n'est pas le seul modèle hydrodynamique développé dans la zone de la baie des Veys. Deux autres modèles existent sur ce secteur ; le modèle SiAM 3D plutôt orienté sur la baie de Seine orientale, mais qui étend son emprise jusqu'à la baie des Veys et le modèle de la SOGREAH.

### 2.1. Le modèle SiAM 3D

Cugier et Le Hir (2002) ont développé un modèle hydrodynamique tridimensionnel (SiAM 3D : Simulation d'Advection Multivariable) orienté sur la baie de Seine. Le point principal qui le différencie du modèle MARS 3D réside dans le fait que les mailles peuvent être irrégulières, donnant ainsi la possibilité d'un raffinement local, notamment dans les secteurs à forts gradients horizontaux, comme par exemple les estuaires.

Ce modèle hydrodynamique est couplé à un modèle écologique simulant le cycle des éléments nutritifs (azote, phosphore, silicium) et différentes classes de phytoplancton. La zone modélisée par SiAM 3D s'étend de Cherbourg à l'ouest jusqu'à Saint Valéry-en-Caux à l'est (est de la baie de Seine), et remonte au nord jusqu'au milieu de la Manche (Cugier, 1999). Les limites du modèle ont volontairement été repoussées bien au-delà de la baie de Seine, loin des principaux gradients, afin de faciliter l'établissement des conditions aux limites.

Ainsi, la baie des Veys se retrouve incluse dans l'emprise de ce modèle. Celle-ci étant essentiellement prise en compte pour l'établissement des conditions aux limites terrestres, du fait des apports d'eau douce non négligeables débouchant en baie. La résolution spatiale de ce modèle dans le secteur de la baie des Veys est d'environ 4 km, ce qui ne permet pas une représentation fine des processus se déroulant dans la baie, car ceux-ci vont avoir tendance à être lissés par le modèle.

### 2.2. Le modèle SOGREAH

En 1998, le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin a demandé à SOGREAH la réalisation d'une étude hydrosédimentaire et d'amélioration des conditions de salubrité dans la baie des Veys.

Le modèle hydrodynamique réalisé par la SOGREAH est construit de la même manière que le modèle MARS. Un premier modèle de faible emprise, centré sur la zone d'étude a d'abord été défini, puis celui-ci a été inclus dans un second modèle de plus grande emprise servant à définir les conditions aux limites (SOGREAH, 2003). Cependant, à la différence du modèle MARS, le modèle développé par la SOGREAH prend en compte la gestion des portes à flot dans les conditions aux limites du petit modèle.

La bathymétrie utilisée dans le modèle ECOT pour le secteur de la baie des Veys provient en partie du relevé bathymétrique réalisé au cours de cette étude.

### 3. Le modèle hydrodynamique MARS

L'hydrodynamique côtière étudie les propriétés physiques de l'océan qui ont trait au mouvement. De ce point de vue, les régions côtières se définissent comme les secteurs où les mouvements de l'eau subissent la forte empreinte de la présence de la côte : il s'agit d'une dynamique de couche limite. Dans ce domaine, les lois physiques auxquelles obéissent les particules d'eau sont essentiellement les lois de la conservation de la masse et de la quantité de mouvement.

#### 3.1. Le modèle MARS-2D

Le modèle MARS-2D est un modèle mathématique bidimensionnel résolvant les équations de la mécanique des fluides à deux dimensions spatiales (plan horizontal) selon une méthode de différences finies semi-implicite. Ce modèle fonctionne sur un maillage horizontal régulier, en coordonnées cartésiennes ou sphériques.

##### 3.1.1. Caractéristiques générales

Le modèle MARS-2D appartient à la catégorie des modèles 2D Horizontaux. Il effectue le calcul des courants, des hauteurs d'eau et des concentrations en substance dissoutes, dans un écoulement liquide plan, quasi-horizontale. La forme des fonds peut-être absolument quelconque et comporter un nombre quelconque de chenaux, îles, hauts fonds, bancs découvrants, estrans...

Afin de réaliser ces calculs, trois types d'informations doivent être fournies au modèle :

- La topographie du domaine (représentée par une double matrice des profondeurs  $h_x$   $h_y$ ).
- Les conditions aux limites sur les frontières ouvertes du domaine.
- Les flux d'eau et de matière dissoute à l'intérieur du domaine (rivières, sources, émissaires...)

##### 3.1.2. Le modèle hydrodynamique

Le comportement de la dynamique d'un fluide est décrit par les lois fondamentales de la conservation de la quantité de mouvement et de la masse, représentées par les équations de Navier-Stokes. Ces équations sont simplifiées, de manière classique, en introduisant l'approximation de Boussinesq (les variations de la masse volumique sont négligeables dans les termes de pression) et en admettant l'hypothèse d'hydrostaticité (les accélérations verticales sont négligeables devant l'accélération de la pesanteur dans un plan-f, facteur de Coriolis constant).

Dans le cas d'un modèle 2DH deux hypothèses de calcul peuvent être formulées afin de simplifier les équations d'évolutions :

- La composante horizontale du courant ne varie pas beaucoup depuis la surface jusqu'à proximité du fond (courant de masse). Le modèle calcule la moyenne des courants sur la verticale.
- Les vitesses verticales sont faibles.

Si l'on considère ces deux hypothèses, le passage en expression bidimensionnelle des équations de Navier-Stokes se fait en intégrant ces équations sur la verticale. Ce système d'équations intégrées, connu sous le nom de « système d'équations de Saint Venant » s'écrit sous la forme :

### Les équations de mouvement

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fv = \varepsilon \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}} - \frac{\partial Pa}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho H}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fu = \varepsilon \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}} - \frac{\partial Pa}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho H}$$

Où u et v sont les composantes de la vitesse intégrées sur la vertical exprimées par :

$$u = \frac{1}{H} \cdot \int_{-d}^{\zeta} u \cdot dz \quad \text{et} \quad v = \frac{1}{H} \cdot \int_{-d}^{\zeta} v \cdot dz$$

### L'équation de continuité

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0$$

- Avec :
- $\zeta$  élévation de la surface libre
  - u composante de la vitesse selon x
  - v composante de la vitesse selon y
  - d profondeur
  - H hauteur de la colonne d'eau :  $H = d + \zeta$
  - f facteur de Coriolis
  - k coefficient de frottement (Strickler)
  - $\varepsilon$  viscosité turbulente horizontale
  - g terme de gravité

La résolution de ce système d'équations permet de déterminer la cote de la surface libre ( $\zeta$ ) ainsi que les vitesses moyennes intégrées sur la verticale (u et v).

### L'équation de transport

Afin de pouvoir modéliser le transport dans la masse d'eau d'un élément chimique, le système décrit précédemment est complété par une équation de transport-diffusion-décroissance :

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HuC)}{\partial x} + \frac{\partial(HvC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( H \cdot k_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( H \cdot k_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - lHC - S$$

- Avec :
- C concentration d'une substance dissoute
  - $k_x$  coefficient de diffusion horizontale dans la direction x
  - $k_y$  coefficient de diffusion horizontale dans la direction y
  - l coefficient de décroissance propre
  - S terme source

### 3.1.3. Le schéma numérique de résolution

La résolution de l'ensemble des équations différentielles utilise la technique des différences finies. Chaque dérivée est approchée par une expression discrétisée. Ainsi, l'équation différentielle est remplacée par une expression discrète appelée schéma numérique. Dans ce modèle, le schéma numérique de résolution est de type A.D.I. (Implicite en Directions Alternées, Leenderste et Gritton, 1971). Cette technique entraîne une scission du pas de temps, utilisant pour la cote de la surface libre et les composantes de la vitesse des expressions, soit explicites, soit implicites qui augmentent la stabilité du schéma et conduisent à la résolution de matrices tridiagonales classiques.

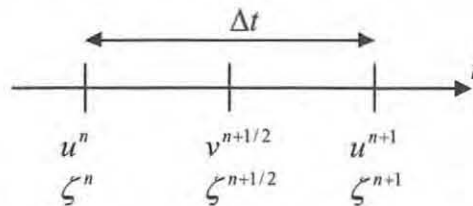


Figure 5 : Calcul des composantes de la vitesse ( $u$  et  $v$ ) et de l'élévation au cours du temps par la méthode A.D.I.

Les composantes  $u$  et  $v$  sont calculées alternativement alors que l'élévation est calculée à chaque demi pas de temps. De la même manière les concentrations ( $C$ ) sont également calculées à chaque demi pas de temps de telle sorte que le calcul des constituants dissous soit parfaitement conservatif (aucune masse perdue ou gagnée).

La grille de calcul est de type C dans la classification d'Arakawa (Arakawa et Lamb, 1977). Cette grille est caractérisée par un décalage des points de calcul de la surface libre  $\zeta$  et des composantes de la vitesse  $u$  et  $v$ . Le calcul de l'élévation s'effectue au centre des mailles, tandis que ceux de  $u$  et  $v$  pris séparément, sont situés sur les bords des mailles.

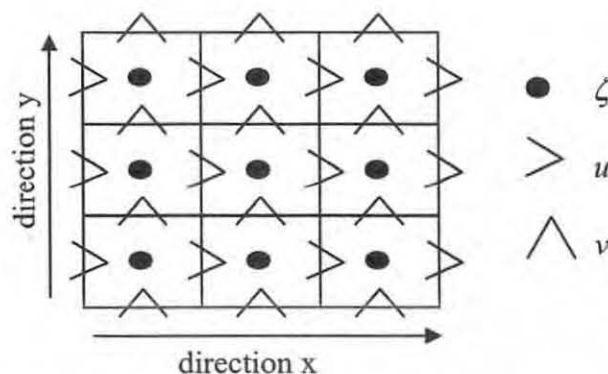


Figure 6 : Grille de discrétisation de type C dans la classification d'Arakawa (Arakawa et Lamb, 1977).

Chaque maille est caractérisée par deux profondeurs ( $h_x$  et  $h_y$ ) qui représentent des seuils pour l'écoulement dans les directions  $x$  et  $y$  respectivement. Les composantes de la vitesse ( $u$  et  $v$ ) sont calculées respectivement aux points  $h_x$  et  $h_y$ . Ceci est particulièrement intéressant pour la représentation des zones découvrantes. En effet, si dans une maille, une des deux profondeurs  $h_x$  ou  $h_y$  devient nulle, les vitesses et donc les flux dans cette direction seront nuls également.



### 3.1.4. Le critère de stabilité du schéma numérique

Le critère de stabilité du modèle ne peut être calculé de manière analytique en raison de la complexité du système d'équations discrétisées. Il est donc déterminé de manière empirique. Le processus contraignant qui va permettre de fixer  $\Delta t$  est l'advection.

Dans ce modèle, le pas de temps respecte le critère de stabilité CFL (Courant Friedrichs-Levy), ainsi, la distance parcourue par une particule pendant le pas de temps de calcul est inférieure à la taille de la maille.

$$u \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1$$

Cette condition, dite de stabilité s'exprime par une valeur maximum du coefficient  $\left( u \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)$

qui porte le nom de nombre de courant. La plupart du temps, le nombre de courant est inférieur à 1, ce qui représente un pas de temps d'intégration assez faible. Cependant, ce dernier n'est pas fixe, car il est ajusté à chaque pas de temps en fonction des vitesses calculées du courant.

Dans toutes les simulations réalisées, le nombre de courant a été fixé à 0,5 car cette valeur représente un bon compromis entre la précision des résultats et le temps de calcul.

### 3.1.5. Les conditions aux limites

Un modèle mathématique doit offrir une représentation de la réalité d'autant plus fine et précise que l'on se situe sur la zone d'intérêt. A cette fin le modèle MARS utilise une technique d'emboîtement de modèles sous forme gigogne. Par cette technique un modèle de grande emprise et de grande maille contient lui-même un ou plusieurs sous-modèles (loupes). Ces derniers reçoivent des modèles qui les précèdent, les conditions aux limites sur leur périmètre. Au plan spatial les modèles intermédiaires possèdent une maille environ 4 fois plus petite que celle du modèle précédent. Le modèle de grande emprise s'étend jusqu'au plateau continental et trouve ses conditions aux limites dans la valeur des ondes générant la marée au large. Un forçage météorologique peut être pris en compte sur toute la surface du modèle et ses éventuelles loupes successives.

Dans cet enchaînement de modèles le moteur de calcul numérique est identique. Seules diffèrent les caractéristiques physiques de la zone géographique (emprise du modèle, taille de la maille...)

### 3.2. Le modèle Est COTentin (ECOT)

#### 3.2.1. Emprise du modèle et conditions aux limites

L'emprise du modèle ECOT s'étend entre 49,8° de latitude nord et 49,33° de latitude sud et entre 0,91° de longitude est et 1,47° de longitude ouest (tableau 2, figure 7).

La dimension de la maille a été fixée à 75 m. La matrice de calcul comporte 357504 points de calculs (532 x 672), ce qui place ce modèle dans la catégorie des modèles de « haute définition ».

Les conditions aux limites du modèle ECOT sont fournies par un modèle plus vaste que l'aire d'étude proprement dite, lui-même inclus dans un modèle général de la Mer du Nord, la Manche et le Mer d'Iroise (nord-ouest de l'Europe). La taille de la maille de ce modèle est d'environ 11 km.

Entre ce modèle général et le modèle de détail, trois modèles intermédiaires permettent d'affiner les conditions aux limites. Les emprises de ces différents modèles sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Emprise du modèle ECOT et des différents modèles servant à calculer les conditions aux limites.

Modèle	Limite nord	Limite sud	Limite est	Limite ouest	Taille de la maille (m)
Rang 0	63°	47,5°	12,5°	-12°	11 000
Rang 1	51,9°	48,3°	0,77	-3,95°	3 175
Rang 2	50,19°	49,01°	-0,56°	-2,92°	910
Rang 3	49,86°	49,30°	-0,80°	-1,57°	262
Rang 4 : ECOT	49,8°	49,33°	-0,91°	-1,47°	75

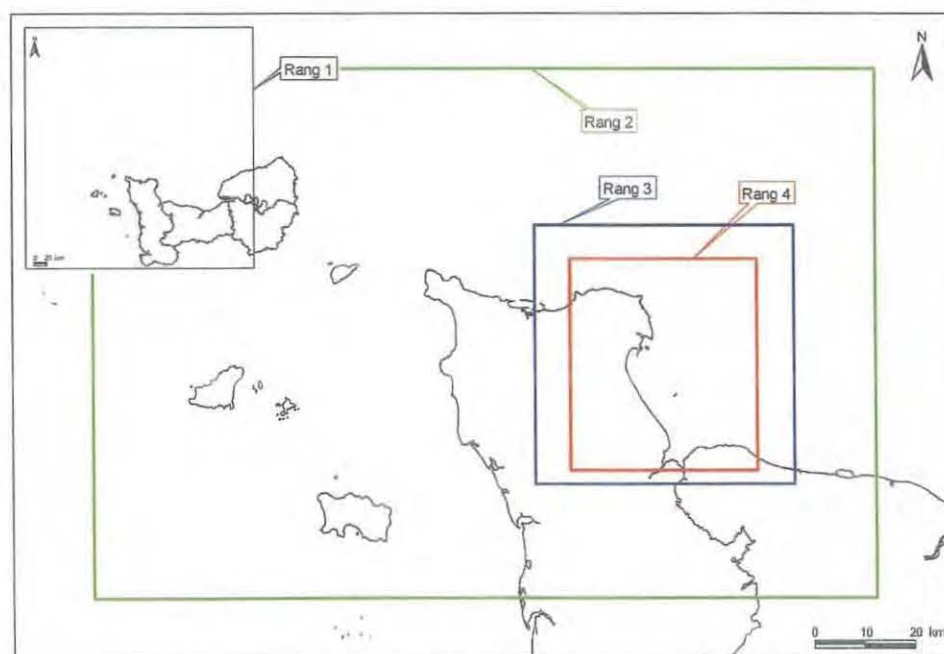


Figure 7 : Situation géographique et emprise des modèles servant à calculer les conditions aux limites. Le rang 4 correspond au modèle Ecot

### 3.2.2. Caractéristiques du modèle

#### ➤ Modèle à 2 Dimensions Horizontales

Le modèle développé pour la zone est Cotentin est un modèle à 2 Dimensions Horizontal. Le choix d'appliquer à cette zone un modèle à 2 dimensions est lié au fait que ce secteur n'est pas caractérisé par d'importantes stratifications de la colonne d'eau comme l'indique la figure 8.

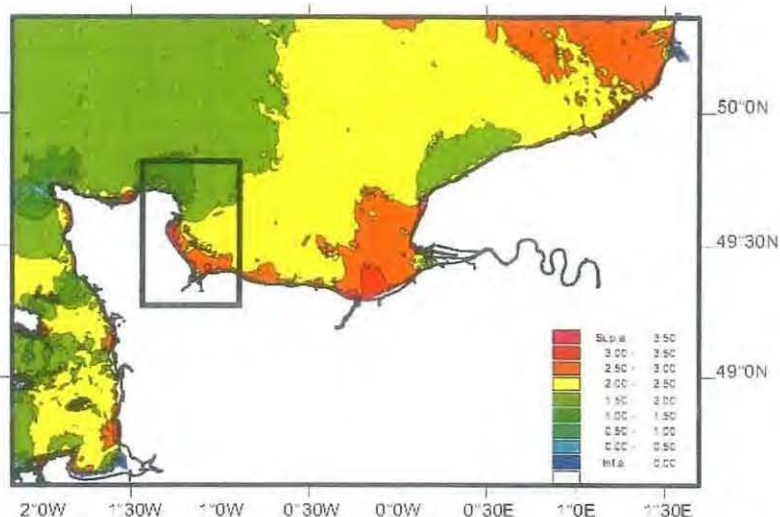


Figure 8 : Indice de stratification thermique dans les environs de la baie de Seine. Le carré noir représente la zone d'emprise du modèle ECOT.

Cette figure représente les variations de l'indice de stratification thermique sur une partie de la Manche. Celui-ci a été calculé seulement à partir des courants de marée ; le vent et les apports d'eau douce par les fleuves ne sont pas pris en compte. Si l'on s'intéresse aux variations de cet indice sur la zone d'emprise du modèle ECOT, on observe que celui-ci augmente du large vers la côte ce qui indique que la majeure partie du modèle couvre des zones où la probabilité de stratification est assez faible. Cependant, certaines zones en bordure de côte sont susceptibles de subir une légère stratification, notamment dans le secteur de la baie des Veys.

Les résultats obtenus dans le suivi des masses d'eau réalisé dans ce secteur depuis plusieurs années dans le cadre du RHLN (Réseau Hydrologique du Littoral bas Normand) instauré par l'Ifremer n'ont pas montré l'existence de stratification thermique en baie des Veys. Par contre, en période hivernale, des dessalures sont couramment observées en baie (figure 9.b) du fait des forts apports d'eau douce par les fleuves (Ropert et Kopp, 2000).

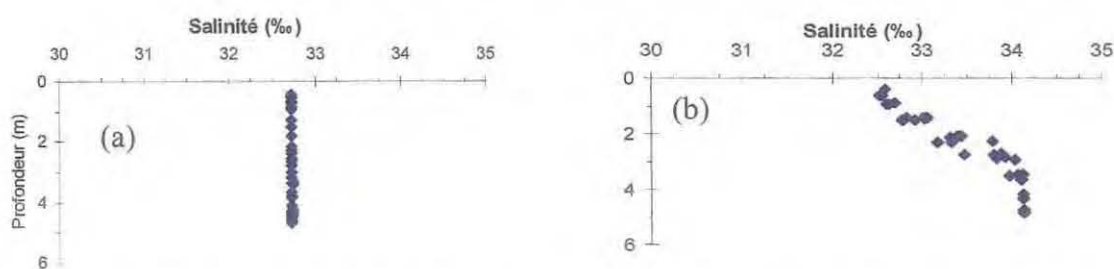


Figure 9 : Profils de salinité réalisés dans le cadre du RHLN au large de Grandcamp-Maisy le 3 août 2000 (a) et le 30 novembre 2000 (b). Par rapport à la période estivale, la période hivernale montre une légère stratification de la colonne d'eau.

## ➤ Bathymétrie

Dans le secteur océanique du modèle ECOT, les données de bathymétrie utilisées proviennent du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Par contre, en baie des Veys la bathymétrie utilisée a été évaluée par photogrammétrie en mai 1999 par un bureau d'étude de la SOGREAH. De plus, sur la zone des parcs (nord-est de la baie) une bathymétrie fine a été réalisée par le laboratoire Ifremer de Port-en-Bessin.

### 3.2.3. Les forçages extérieurs

Les principaux forçages extérieurs pris en compte par le modèle MARS sont : la marée, le vent et les apports d'eau douce.

**La marée.** La marée est un phénomène barotrope (la composante verticale étant négligeable devant la composante horizontale), qui génère une pente de la surface libre au niveau de la limite océanique du système. Elle est une conséquence simultanée de la force de gravitation qui s'exerce sur les corps célestes et de la révolution de ces corps les uns par rapport aux autres.

En tout point du globe l'onde de marée peut-être décomposée en une série d'harmoniques. Ces harmoniques ayant des périodes incommensurables entre elles, la marée est un signal non périodique. Elle ne se répète jamais à l'identique.

Sur les côtes françaises, l'harmonique de marée principal est la composante lunaire semi-diurne (M2), provoquée par la résultante de l'attraction gravitationnelle de la lune sur la terre et de la force centrifuge. Dans le modèle MARS, l'onde M2 est la seule harmonique à être prise en compte dans le calcul de la marée. Celui-ci est réalisé en se basant sur cette onde modulée par le coefficient de marée.

**Le vent.** Les données de vitesse et de direction du vent introduites dans le modèle sont fournies par la station météo France d'Englesqueville la Percée, située sur le littoral au nord-est de la baie des Veys. Les mesures réalisées par cette station météorologique, sont des mesures tri-horaires moyennées en direction et en vitesse sur les 10 minutes précédant la fin de la plage horaire. Ces mesures ont été appliquées uniformément sur toute la zone d'étude.

**Les apports d'eau douce.** Sur les 4 rivières principales débouchant en baie, la Vire est celle qui draine le plus grand bassin versant (cf tableau 1).

Depuis 1993, l'agence DIREN de Basse-Normandie (Direction Régionale de l'Environnement) réalise un suivi journalier des débits de la Vire. En ce qui concerne les trois autres rivières, seules des mesures relativement ponctuelles de débits ont été réalisées. Ces données n'étant pas suffisantes pour reconstituer des chroniques de débits, ceux-ci ont été extrapolés à partir des données journalières de la Vire et du rapport de la surface de leurs bassins versants respectifs.

Dans le cas particulier de l'Aure, seul la surface du bassin versant de l'Aure inférieure a été considérée dans la reconstitution. Cependant, aux périodes où le débit de l'Aure supérieure a dépassé  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  aux fosses Soucy, l'excédent d'eau se déversant dans l'Aure inférieure a été pris en compte.

## 4. Acquisition de données terrain

### 4.1. Données de hauteur d'eau

L'acquisition de données réelles de hauteur d'eau n'a pu être réalisée dans le cadre de cette étude, car elle nécessite de pouvoir disposer d'un marégraphe placé dans le milieu sur d'assez longues périodes.

Ainsi, les données de hauteurs d'eau utilisées pour valider le modèle ont été obtenues par l'intermédiaire du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). En effet, le SHOM dispose des constantes harmoniques de marée de la plupart des ports français, celles-ci ayant pu être déterminées grâce à des mesures marégraphiques réalisées dans ces ports sur d'assez longues périodes. Le nombre de constantes harmoniques disponibles varie selon les ports mais celui-ci est toujours au moins supérieur à une centaine. Ces constantes permettent de reconstituer une marée la plus réaliste possible.

Dans le cadre de cette étude, le SHOM nous a fourni les constantes harmoniques (115 constantes) du port de Grandcamp ce qui nous a permis de reconstituer les hauteurs d'eau de ce secteur pour n'importe quelle période.

### 4.2. Mesures du courant

Les mesures de courant utilisées pour valider le modèle ont été réalisées à l'aide d'un profileur de courant à effet Doppler (ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler). Cette technique est basée sur la propagation et la réflexion des ondes acoustiques sur des particules en suspension dans l'eau.

L'ADCP utilise l'écho des particules en suspension (utilisées comme réflecteur) pour mesurer la vitesse du courant. Les particules étant supposées se déplacer avec le courant. Ainsi, l'ADCP émet un son et récupère un écho. La différence de fréquence entre l'onde émise et l'écho réfléchi permet de déduire la vitesse de déplacement de la particule suivant l'axe émission / réception. La mesure de la vitesse du courant est réalisée sur toute la trajectoire de l'impulsion sonore à chaque fois que l'onde rencontre une particule, ce qui permet d'obtenir des vitesses pour différentes profondeurs de la colonne d'eau.

Deux campagnes de mesures ont été effectuées afin d'acquérir des données pour valider le modèle. La première a été réalisée le 25 novembre 2002 en période de mortes-eaux (coefficient 65, amplitude moyenne de marée 4 m) aux environs des îles Saint-Marcouf (nord-ouest de la baie des Veys, figure 10). La seconde a été réalisée le 6 mai 2004 en période de vives-eaux (coefficient 105, amplitude moyenne de marée 6,1 m) à la sortie de la baie des Veys (figure 10). Cette seconde campagne a été réalisée au cours de ce travail, afin de disposer de données acquises près de la zone d'intérêt : les parcs ostréicoles de la baie des Veys.

Lors de chaque campagne, l'ADCP utilisé était piloté par un micro-ordinateur et couplé à un système de positionnement global (GPS). Le pas de temps d'acquisition était d'environ 1 seconde.

Pour les deux campagnes, le bateau s'est déplacé à une vitesse de *ca.* 2 nœuds le long d'un transect orienté est-ouest. La longueur du transect était de *ca.* 1 mille nautique pour la première et de *ca.* 2 milles nautiques pour la seconde.

L'acquisition des données a été faite tout au long d'un cycle de marée (*ca.* 12 h). Le bateau a donc effectué plusieurs aller retour sur chaque transect (*ca.* 14 pour la première et *ca.* 9 pour la seconde campagne), permettant ainsi d'obtenir les vitesses de courant à plusieurs instants du cycle de marée pour différentes zones.

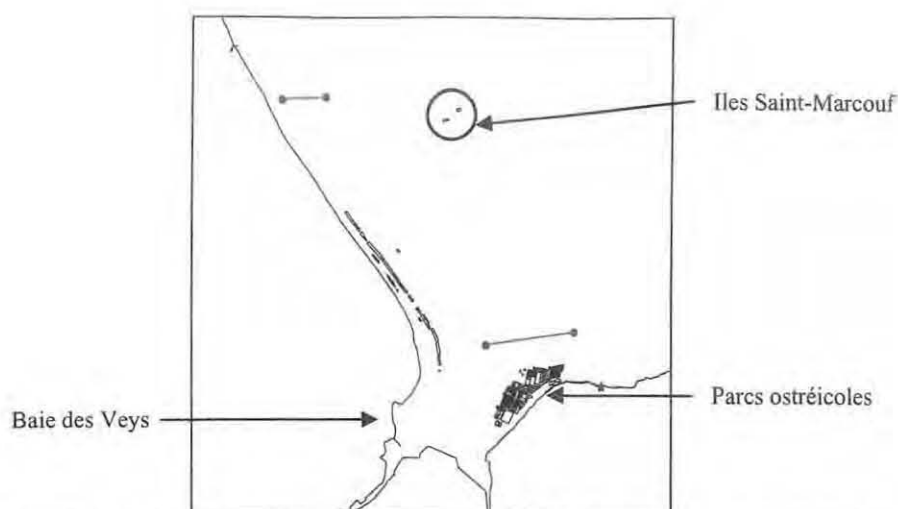


Figure 10 : Localisation des deux transects de mesures ADCP. Le premier a été réalisé au nord-ouest de la baie (îles Saint-Marcouf) et le second près des concessions ostréicoles.

Un premier traitement statistique basé sur des moyennes est appliqué aux mesures obtenues :

- ✓ les mesures réalisées par l'ADCP ont été intégrées sur la verticale, car les données issues du modèle ECOT sont en 2DH
- ✓ l'échelle caractéristique de cette étude correspondant à la dimension de la maille du modèle, une moyenne spatio-temporelle de la vitesse du courant est réalisée à chaque fois qu'une maille est traversée par le bateau

## 5. Présentation des simulations

### 5.1. Présentation des différents scénarii

L'objectif des différents scénarii réalisés au cours de cette étude est de caractériser l'influence des apports des bassins versants sur les concessions ostréicoles de la baie des Veys. Pour cela, une multiplicité de scénarii peut être réalisée en faisant varier les conditions aux limites. Dans le cadre de ce travail deux paramètres principaux ont été étudiés :

- ✓ les apports d'eau douce des principales rivières débouchant en baie
- ✓ les conditions de vent (vitesse et direction).

Ainsi, 8 scénarii mettant en évidence l'influence de ces paramètres ont été retenus. Chacun de ces scénarii a été simulé sur une période d'un mois, mais seuls les résultats des 15 derniers jours ont été récupérés, afin de laisser au système le temps de se stabiliser. Toutes les simulations ont été réalisées à la même période : entre le 9 avril 2004 et le 8 mai 2004. Celle-ci a été choisie car sur les 15 jours récupérés la marée couvre une large gamme de coefficients allant de faibles mortes-eaux (29) à de fortes vives-eaux (105), ce qui permet d'observer les structures sur un large spectre de coefficient de marée.

### 5.1.1. Etude du débit

Les trois premiers scénarii réalisés mettent en évidence l'influence des apports d'eau douce provenant des bassins versants. Pour cela, ces différentes simulations ont été faites sans vent.

Trois catégories de débits ont été retenues : Q50, Q90 et crue (Misko, 2003). Le Q50 est le débit moyen mensuel le plus probable. C'est-à-dire que la probabilité sur une année, que le débit dépasse la valeur de Q50 est égale à la probabilité qu'il ne le dépasse pas : 0,5. De la même manière, le Q90 est le débit dépassé dans 10 % des cas. Celui-ci représente une situation de hautes eaux. Enfin, les débits de crue utilisés correspondent à des crues biennales. Les différents débits utilisés sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Débits des 4 principales rivières débouchant en baie en fonction des différents scénarii.

Scénarii	Aure	Vire	Taute	Douve
Q50 ( $m^3.s^{-1}$ )	3,3	10	2,6	6,6
Q90 ( $m^3.s^{-1}$ )	14,4	43	10,5	26,3
Crue ( $m^3.s^{-1}$ )	50	90	80	30

Dans les différents scénarii, les débits ont été appliqués de manière constante tout au long de la simulation.

### 5.1.2. Etude du vent

Afin d'étudier l'impact du vent sur les panaches des rivières, 5 scénarii ont été retenus en faisant varier :

- ✓ soit la vitesse du vent pour une direction donnée
- ✓ soit la direction pour une vitesse donnée

Pour chacun de ces scénarii, le débit des rivières retenu est le Q90. Ce débit a été choisi, afin que les apports d'eau douce dans la baie soient suffisamment importants pour bien mettre en évidence les variations des structures en fonction des conditions de vent.

Les trois premières simulations ont pour but d'étudier l'influence de la vitesse du vent sur la répartition des masses d'eau en baie des Veys. Trois vitesses ont donc été sélectionnées : 5, 7 et 10  $m.s^{-1}$ .

En baie des Veys un vent de 5  $m.s^{-1}$  représente un vent moyen. En effet, la probabilité sur une année pour que la vitesse dépasse ou non 5  $m.s^{-1}$  est égale à 0,5 (données météo France). Un vent de 10  $m.s^{-1}$  n'est dépassé que dans 10 % des cas. Enfin, pour le dernier scénario une vitesse intermédiaire a été choisie : 7  $m.s^{-1}$ .

Ces trois simulations ont été effectuées pour une même direction de vent : nord-ouest. Cette direction a été retenue suite aux travaux de Ropert et Kopp (2000), qui ont montré l'existence d'une forte corrélation entre cette direction de vent et la présence de fortes dessalures sur les zones de parcs.

Enfin, les deux dernières simulations ont pour but d'étudier l'influence de la direction du vent sur le déplacement des masses d'eaux. Pour cela, deux directions supplémentaires représentant les vents dominants dans le secteur ont été retenues : sud-ouest et nord-est. Pour ces deux simulations, la vitesse du vent a été fixée à 7  $m.s^{-1}$ , afin de bien mettre en évidence l'impact de la direction du vent sur la structuration des masses d'eau.

Comme pour les trois premières simulations, le débit, les vitesses et les directions de vent sont constants tout au long de chaque simulation.

## 5.2. Etude de l'hydrodynamisme

Afin de caractériser l'hydrodynamisme de la baie des Veys des calculs de trajectoires de particules et de temps de résidence ont été réalisés.

### 5.2.1. Calcul de trajectoire

Les trajectoires des particules sont fortement variables suivant l'instant de leurs lâchés. Cela s'explique par le fait que le courant de marée instantané est tel qu'il peut porter dans des directions opposées au cours du cycle de la marée. Par ailleurs, la position finale des particules (*i.e.* au bout d'un cycle exact de la marée du modèle, réduite ici à la seule onde  $M_2$ ) diffère, parfois notablement, de leur position initiale. Au cours d'un cycle de marée de période  $T$ , la particule a finalement eu un déplacement  $\bar{d}$ , petit par rapport à l'extension de sa trajectoire complète. Ainsi, une vitesse associée à ce déplacement peut-être définie par  $\bar{v} = \frac{\bar{d}}{T}$ , qui est d'un ou deux ordres de grandeurs inférieure à la vitesse instantanée de la particule. Cette vitesse, dite vitesse lagrangienne résiduelle du courant de marée, caractérise le transport à long terme des masses d'eau (Orbi et Salomon, 1988).

Etant donné que le moment du lâché des particules va avoir une influence notable sur les trajectoires obtenues, pour chaque scénario testé, deux lâchés de particules ont été réalisés : un au moment de la pleine mer (début du jusant) et un à la basse mer (début du flot). Ainsi, ces deux lâchés permettent de caractériser les trajectoires des particules pour les deux principales directions de transport du courant de marée.

### 5.2.2. Estimation du temps de résidence

*Le temps de résidence se définit comme, le temps que va mettre une particule partant d'une position donnée dans un système à sortir de celui-ci (Monsen et al., 2002).*

Dans le cadre de cette étude, ce temps a été calculé pour l'ensemble de la baie des Veys selon différentes conditions de débit des rivières (débit nul, Q50 et Q90).

Pour cela, à  $t=0$ , un traceur a été introduit dans l'ensemble de la baie, de telle manière que la concentration initiale de celui-ci soit égale à  $1 \text{ u.m}^3$  dans chacune des mailles. Au cours de la simulation, ce traceur est transporté suivant les processus d'advection-diffusion décrit précédemment. La masse totale restant dans le système est calculée à chaque pas de temps en faisant la somme sur l'ensemble des mailles de la concentration du traceur multipliée par le volume d'eau :

$$\left( m_{\text{totale}} = \sum_{i=1}^n C(i) * V(i) \right)_t$$

Avec :  $n$  : nombre total de mailles utilisées

$C$  : Concentration du traceur ( $\text{u.m}^3$ ) dans la maille «  $i$  »

$V$  : Volume d'eau ( $\text{m}^3$ ) dans la maille «  $i$  »



Le calcul du temps de résidence pour les différents scénarii réalisés a été effectué à partir de la formule suivante :

$$T = \frac{\int_{m_0}^0 t^* dm}{\int_{m_0}^0 dm}$$

Avec T : temps de résidence  
dm : variation de la masse au cours du temps

Le temps de résidence calculé représente le temps moyen que va passer une particule dans le système.

### III. Validation du modèle Ecot dans le secteur de la baie des Veys.

#### 1. Résultats

La confrontation des résultats issus d'un modèle avec des données terrain constitue une étape essentielle préalable à l'utilisation du modèle. Afin d'obtenir une validation la plus fiable possible les simulations ont été réalisées en utilisant les données réelles de marée, de vent et de débit pour les périodes concernées. Le choix des paramètres utilisés pour valider le modèle a été conditionné par les données disponibles. Ainsi, deux paramètres ont été retenus la hauteur d'eau et les courants (vitesse et direction).

##### 1.1. Validation du modèle sur les hauteurs d'eau

###### 1.1.1. Comparaison modèle-mesure

Les données de hauteurs d'eau utilisées pour valider le modèle sont des données reconstituées à partir des constantes harmoniques du port de Grandcamp-Maisy (figure 1) fournies par le SHOM.

L'utilisation de ces harmoniques représente un outil intéressant pour valider le modèle. D'une part, car celles-ci permettent de reconstituer une marée réelle ne prenant pas en compte l'influence des perturbations atmosphériques sur les hauteurs d'eau comme le fait le modèle. D'autre part, le fait de disposer de ces constantes permet de choisir la date et la durée sur laquelle les hauteurs d'eau seront reconstituées.

Par contre, ces harmoniques ne sont calculées que pour les différents ports français. Or, un seul port étant situé en baie des Veys, la validation sur les hauteurs d'eau n'a pu être réalisée qu'à un seul endroit.

Afin de voir si le modèle reproduit correctement le cycle mortes-eaux/vives-eaux, une première simulation a été réalisée sur une période d'un mois (août 2000).

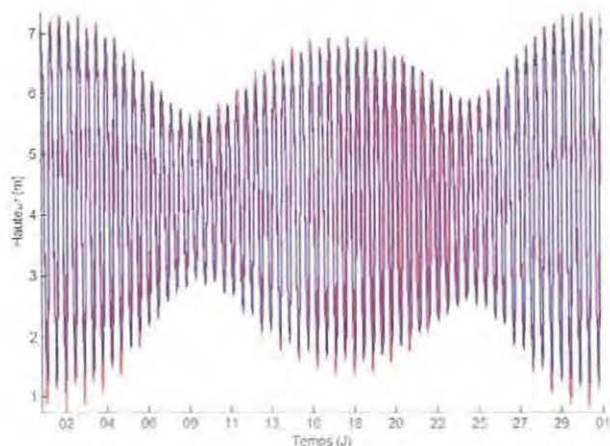


Figure 11 : Comparaison des hauteurs d'eau simulées et reconstituées pour le port de Grandcamp sur un cycle mortes-eaux/vives-eaux.

La figure 11 indique que le modèle reproduit bien les variations de hauteur d'eau entre les périodes de vives-eaux et les périodes de mortes-eaux. Par contre, il semble que quelque soit la période, le modèle ait tendance à sur-estimer la hauteur d'eau à la basse mer et à la sous-estimer à la pleine mer. Ceci implique que le modèle sous-estime également l'amplitude de la marée. La différence observée entre les hauteurs d'eau du modèle et du SHOM est de l'ordre d'une dizaine de centimètres.

Afin d'étudier le comportement du modèle à une échelle plus fine (*i.e.* le cycle de marée), un agrandissement a été réalisé sur une période de quelques jours (du 15 au 19 août 2000, figure 12).

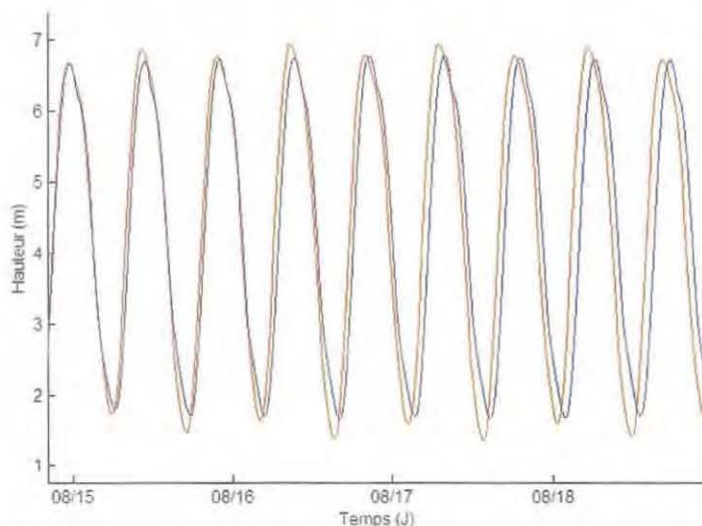


Figure 12 : Comparaison des hauteurs d'eau simulées et reconstituées pour la période du 15 au 19 août 2000.

En ce qui concerne les données du SHOM, cette figure montre que, pour chacun des jours représentés, les deux marées quotidiennes présentent des amplitudes différentes, la première ayant une amplitude légèrement inférieure à la seconde. Par contre, les résultats issus du modèle montrent pour chaque jour des amplitudes similaires entre les deux marées. Ainsi, ces résultats indiquent que le modèle reproduit de manière satisfaisante les données pour la première marée quotidienne, alors qu'il a tendance à les sous-estimer pour la seconde.

L'agrandissement réalisé permet aussi de mettre en évidence l'existence d'un déphasage entre les hauteurs d'eau issues du modèle et les données SHOM. En effet, pour la première marée présentée à la figure 12 (15 août) une parfaite concordance est observée entre le modèle et les données. Puis, au moment de la basse mer un léger déphasage apparaît, celui-ci va se propager au cours du temps en s'amplifiant légèrement. Ce déphasage a aussi été mis en évidence au cours d'autres simulations quelle que soit la période étudiée (vives-eaux/mortes-eaux).

### 1.1.2. Influence du coefficient de frottement

Dans le modèle, la force de frottement est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$F_x = g \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}} \quad F_y = g \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 H^{4/3}}$$

Avec : H hauteur d'eau  
k coefficient de frottement (Strikler)  
u composante de la vitesse selon x  
v composante de la vitesse selon y

Cette force étant fonction en partie de la hauteur d'eau, il est intéressant d'étudier la sensibilité du modèle à une variation de ce paramètre.

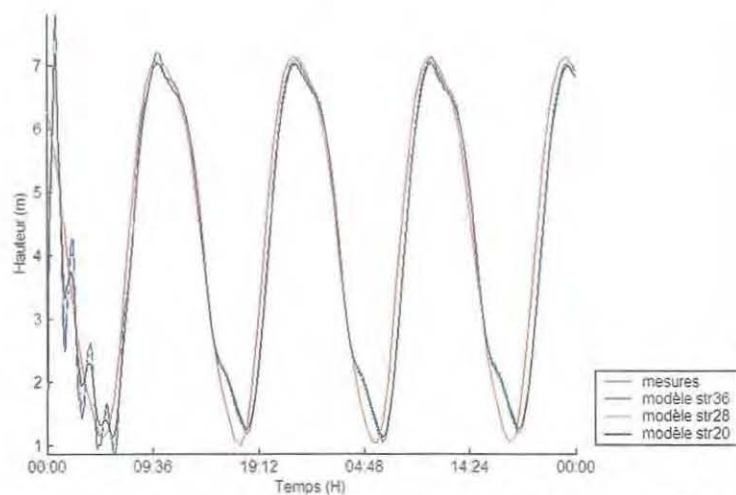


Figure 13 : Influence des variations du coefficient de Strikler (20, 28 et 36) sur les hauteurs d'eau simulées par le modèle

La figure 13 représente les variations de hauteur d'eau du modèle et des données SHOM pour les 5 et 6 mai 2004 (coefficient de marée 104). La première partie de cette figure (entre minuit et 6 heures environ) correspond à la phase de calage du modèle. Dans le modèle MARS, le coefficient de Strikler (k) présente une gamme de variation comprise entre 20 et 36. Afin de faire varier les frottements, trois valeurs différentes de ce coefficient ont été testées (20, 28 et 36). L'influence de ce coefficient sur les frottements est telle que plus celui-ci est fort et plus les frottements diminuent. Ces différentes valeurs de Strikler ont été appliquées directement sur le rang 4 du modèle (modèle ECOT).

Les résultats obtenus à la figure 13 ne montrent pas de différence significative entre les hauteurs d'eau du modèle obtenues pour les différents Strikler testés. Seule une très légère augmentation de l'amplitude de marée est observée lorsque le Strikler augmente.

## 1.2. Validation du modèle sur les courants

La validation du modèle sur les courants a été effectuée à partir des deux campagnes de courantométrie réalisées dans la zone d'emprise du modèle ECOT. Pour chacune de ces campagnes les composantes U (est-ouest), V (nord-sud) et la norme du courant ont été analysées.

Les résultats de la validation sur les courants sont présentés sur la planche 1 pour la baie des Veys et sur la planche 2 pour les îles Saint Marcouf. Ces planches sont présentées à la fin de ce chapitre (chap. III).

### 1.2.1. Validation du modèle

Les résultats obtenus lors de la comparaison modèle-mesures indiquent une assez bonne concordance pour les vitesses et les directions du courant à l'échelle du cycle de marée (Planche 1 et 2, figure A et figure C).

Cependant, l'ajustement entre les courbes est assez variable au cours du temps. C'est pourquoi, de la même manière que pour les hauteurs d'eau, il nous a paru intéressant de voir si une variation du coefficient de frottement a une influence sur l'ajustement du modèle aux mesures.

Les résultats présentés sur les figures A et C indiquent que pour la campagne de la baie des Veys les variations du coefficient de frottement ont une influence marquée sur la composante est-ouest du courant, alors que celle-ci est assez limitée sur la composante nord-sud. Les résultats de la seconde campagne montrent une influence du coefficient de frottement sur les deux composantes du courant.

Ainsi, quelle que soit la campagne il semble que le meilleur ajustement entre le modèle et les mesures soit obtenu pour la plus forte valeur du coefficient de Strikler (36), ce qui correspond à une diminution de la force de frottement. C'est pourquoi, pour toutes les simulations suivantes ce coefficient a été fixé à 36.

Afin d'estimer l'écart entre les résultats du modèle et les mesures, des corrélations ont été réalisées pour les deux composantes du courant, et pour la norme (figures B et D).

Pour la composante nord-sud, une très bonne corrélation est observée pour les deux campagnes avec des pentes respectivement égales à  $0,8728 \pm 0,033$  et  $0,8442 \pm 0,029$  pour la baie des Veys et les îles Saint Marcouf. De plus, les forts coefficients de détermination obtenus (0,8338 et 0,8567) indiquent une faible dispersion des données.

La norme du courant présente une assez bonne corrélation pour la baie des Veys (pente de  $0,8402 \pm 0,052$ ), alors qu'elle semble un peu biaisée pour les îles Saint Marcouf (pente de  $0,7463 \pm 0,058$ ). En terme de dispersion, les coefficients de détermination obtenus sont plus faibles que précédemment (respectivement 0,6559 et 0,5374), ce qui indique une plus forte dispersion des données.

Enfin, à l'inverse de la norme, la composante est-ouest du courant présente une meilleure corrélation pour les îles Saint Marcouf (pente de  $0,8841 \pm 0,11$ ) que pour la baie des Veys (pente de  $0,6091 \pm 0,039$ ). Cependant, le coefficient de détermination indique une dispersion des données plus importante pour les îles Saint Marcouf ( $R^2=0,3074$  contre 0,64 en baie).

Une analyse statistique a été réalisée (test de student) afin de voir si les valeurs de pente obtenues étaient significativement différentes de 1 et les valeurs d'intercept significativement différentes de 0. Les résultats de cette analyse ont montré que seule la pente de la composante est-ouest de la campagne baie des Veys s'est révélée significativement différente de 1 au seuil de 5 %.

Enfin, il semble que comme précédemment pour les hauteurs d'eau, il y ait parfois un léger déphasage entre les résultats du modèle et les mesures. Ce phénomène est bien visible sur la figure C.1 : entre 17 heures et 20 heures, les deux courbes sont parfaitement en phase, alors qu'entre 22 heures et minuit un déphasage est clairement observé entre ces courbes.

### 1.2.2. Caractérisation des courants dans le secteur de la baie des Veys

#### ➤ Détermination du courant dominant

Pour les deux campagnes étudiées les résultats montrent que la vitesse du courant est beaucoup plus faible dans la direction est-ouest que dans la direction nord-sud. En effet, pour la baie des Veys la composante U du courant varie entre  $0,29$  et  $-0,23$   $m.s^{-1}$  alors que la composante V varie entre  $0,47$  et  $-0,77$   $m.s^{-1}$  (figure A). De la même manière pour les îles Saint Marcouf les composantes U et V varient respectivement entre  $0,12$  et  $-0,14$   $m.s^{-1}$  et entre  $0,43$  et  $-0,40$   $m.s^{-1}$  (figure C).

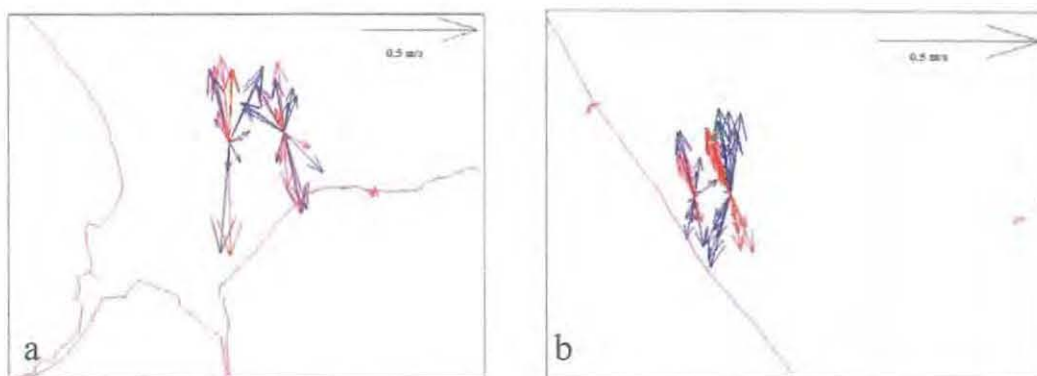


Figure 14 : Variation de la norme du courant simulée (rouge) et mesurée (bleu) sur deux points des transects de la baie des Veys (14.a) et des îles Saint-Marcouf (14.b) au cours d'un cycle de marée.

La figure 14 représente la forme de l'ellipse de marée en baie des Veys (14.a) et aux îles Saint Marcouf (14.b). Les vecteurs bleus représentent les mesures ADCP et les rouges les résultats du modèle. Ces deux figures montrent, d'une part, que pour les deux zones étudiées la composante dominante du courant de marée est la composante nord-sud, et d'autre part, elles illustrent bien le déphasage entre le modèle et les mesures mis en évidence précédemment.

#### ➤ Influence de la profondeur

Sur les figures A et C (Planche 1 et 2), des oscillations assez importantes de la vitesse du courant sont régulièrement observées sur de courtes périodes (quelques dizaines de minutes). Celles-ci sont particulièrement bien visibles sur la composante dominante du courant (figure A.2 et C.2). La durée de chacune de ces oscillations étant sensiblement égale au temps de réalisation d'un transect, nous avons cherché à voir si celles-ci pouvaient s'expliquer par des variations de profondeurs de la colonne d'eau.

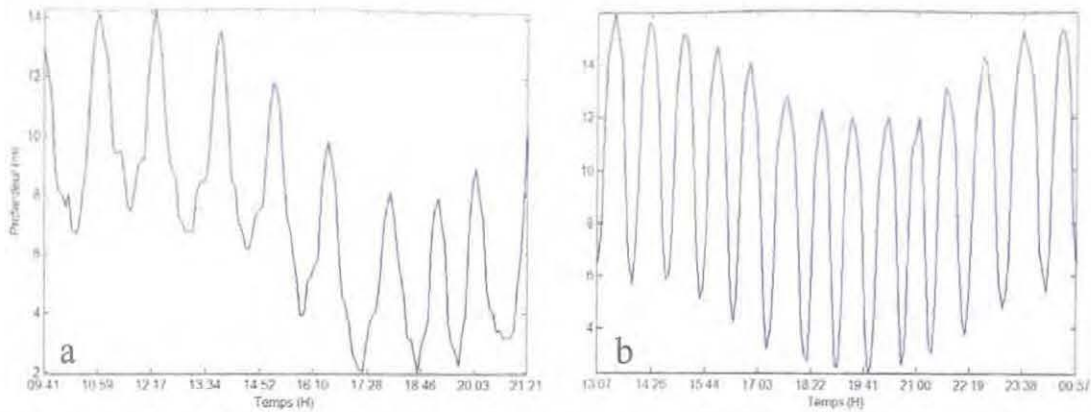


Figure 15 : Variation de la profondeur au cours des campagnes de mesures ADCP, pour la baie des Veys (15.a) et pour les îles Saint-Marcouf (15.b).

D'une manière générale, la profondeur varie d'une dizaine de mètres environ pour chacun des transects des deux campagnes. Cette variation de profondeur est due au fait qu'au cours de chaque transect le bateau s'est déplacé entre la côte et *ca.* 1 à 2 milles au large. Les oscillations de la profondeur observées à la figure 15 coïncident fortement avec les oscillations de la vitesse du courant observées sur les figures A.2 et C.2. Ainsi, ces résultats traduisent l'existence d'une relation entre l'augmentation de la profondeur et l'augmentation de la vitesse du courant. Cette relation est bien visible à la mi-marée où les courants sont les plus forts (*ca.* 17h et *ca.* 23h pour les îles Saint Marcouf).

### 1.2.3. Sensibilité des courants aux variations des conditions aux limites

Avant de procéder aux simulations, une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'étudier la sensibilité des courants à des variations des conditions aux limites. Cette analyse a été faite uniquement pour le transect de la baie des Veys.

Pour cela, 3 vitesses de vent (5, 10 et 20 m.s<sup>-1</sup>) et deux directions (nord-est et sud-ouest) ont été étudiées. Les deux directions testées correspondent aux vents dominants dans ce secteur.

Afin de caractériser la sensibilité du modèle les résultats de ces différentes simulations ont été comparés à une simulation standard (réalisée sans vent) à l'aide de la formule suivante :

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n \cdot x_i} * 100$$

Avec  $x_i$  données de la simulation standard  
 $y_i$  données des simulations avec vent  
 $n$  nombre de données

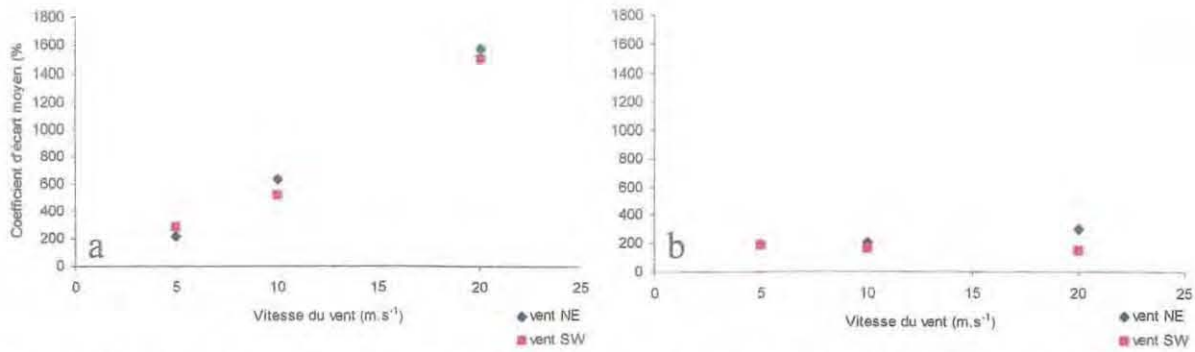


Figure 16 : Variation du coefficient d'écart moyen (S) en fonction de la vitesse du vent pour la composante est-ouest (16.a) et nord-sud (16.b) du courant.

La figure 16 représente les variations du coefficient d'écart moyen S (en pourcentage) en fonction de la vitesse du vent.

En ce qui concerne la composante est-ouest du courant, les résultats montrent l'existence d'une relation linéaire entre le coefficient d'écart moyen et la vitesse du vent quelque soit la direction. Par contre, pour la composante nord-sud, les différentes vitesses testées n'induisent pas de variation significative du coefficient d'écart moyen.

Enfin, une dernière simulation a été réalisée afin d'étudier la sensibilité des courants aux apports d'eau douce. Pour cela, le débit débouchant en baie a été fixé à  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (débit de crue). Les résultats obtenus n'ont pas montré d'impact significatif sur les courants.

## 2. Discussion

Les résultats obtenus au cours de la validation du modèle montrent que celui-ci simule de manière relativement satisfaisante les variations de hauteur d'eau, de vitesse et de direction du courant dans le secteur de la baie des Veys.

En ce qui concerne les courants, les résultats indiquent d'une part, l'existence d'une relation entre l'augmentation de la hauteur de la colonne d'eau et l'augmentation de la vitesse du courant. Cette relation s'explique par le fait que dans les régions côtières les hauteurs d'eau sont assez faibles, en effet, au cours des campagnes réalisées celles-ci ont varié entre *ca.* 4-6 m au plus près de la côte et *ca.* 14-15 m à 1 mille au large. Or, c'est dans les zones les moins profondes que les frottements du fond vont avoir le plus d'influence

Ainsi, les plus faibles vitesses de courant observées dans les zones les moins profondes s'expliquent par l'action des frottements qui tendent à freiner les courants alors que plus au large où la hauteur de la colonne d'eau augmente, les frottements auront moins d'influence sur la vitesse du courant.

D'autre part, les résultats montrent que l'ajustement entre les courbes n'est pas parfait et présente parfois des écarts plus ou moins importants. Bien que la cause de ces écarts n'ait pas été déterminée au cours de ce travail, il serait intéressant de vérifier s'ils ne pourraient pas s'expliquer en partie par une différence de bathymétrie entre le modèle et la réalité.

En effet, dans le secteur de la baie des Veys les fonds évoluent régulièrement (Sylvand, 1995) or, les données bathymétriques utilisées dans le modèle sont relativement ancienne (SHOM 1913). Il est donc possible que ce dernier sur-estime ou sous-estime la hauteur du fond et par conséquent la profondeur de la colonne d'eau. Comme cela a été montré au cours de ce travail, dans les régions côtières peu profondes, la hauteur de la colonne d'eau va avoir une influence sur la vitesse du courant par l'intermédiaire de la force de frottement.



Pour les deux paramètres étudiés, les résultats de la validation ont mis en évidence l'existence d'un déphasage irrégulier entre les résultats du modèle et les données.

Dans le modèle, l'onde de marée est calculée seulement à partir de la composante semi-diurne lunaire M2. Or, bien que celle-ci soit l'onde dominante sur nos côtes, sa seule utilisation ne permet pas de reconstituer la marée réelle, celle-ci étant constituée d'un grand nombre d'harmoniques. Ainsi, cette simplification de l'onde de marée introduite dans le modèle pourrait être la cause du déphasage observé entre le modèle et les mesures.

L'analyse de sensibilité n'a pas montré d'influence significative de la variation des frottements sur les hauteurs d'eau. Des résultats similaires ont été obtenus dans le bassin d'Arcachon par Plus et Durand (sous presse).

Par contre, l'analyse réalisée sur les courants a mis en évidence une influence du coefficient de frottement sur l'ajustement du modèle aux mesures.

En baie des Veys, cette influence est bien marquée pour la composante est-ouest du courant alors que celle-ci est relativement faible pour la composant nord-sud. Cette différence s'explique par le fait que cette dernière est la composante dominante du courant. Ainsi, l'influence de paramètres extérieurs tels que le vent ou les frottements sera beaucoup moins marquée que sur la composante la plus faible du courant. Pour les îles Saint Marcouf les résultats sont sensiblement les mêmes, bien que l'influence des paramètres extérieurs soit un peu plus forte sur la composante dominante.

Il semble que pour les deux secteurs étudiés une diminution de la force de frottement améliore l'ajustement du modèle aux mesures. Ces deux zones étant situées dans des régions côtières (peu profondes), une augmentation du coefficient de Strikler permet de palier une sur-estimation des frottements (Plus et Durand, sous presse) ce qui explique que le meilleur ajustement ait été obtenu pour le plus fort coefficient de Strikler. Il serait intéressant d'étudier l'influence de variations de ce coefficient en différents points du modèle présentant des hauteurs d'eau différentes afin de voir si la relation entre frottements et hauteur d'eau est vérifiée. L'intérêt d'étudier cette relation serait d'aboutir à une spatialisation du coefficient de Strikler en fonction des hauteurs d'eau comme cela a été réalisé dans le bassin d'Arcachon (Plus et Durand, sous presse).

Planche 1 : Validation sur les courants (transect de la baie des Veys)

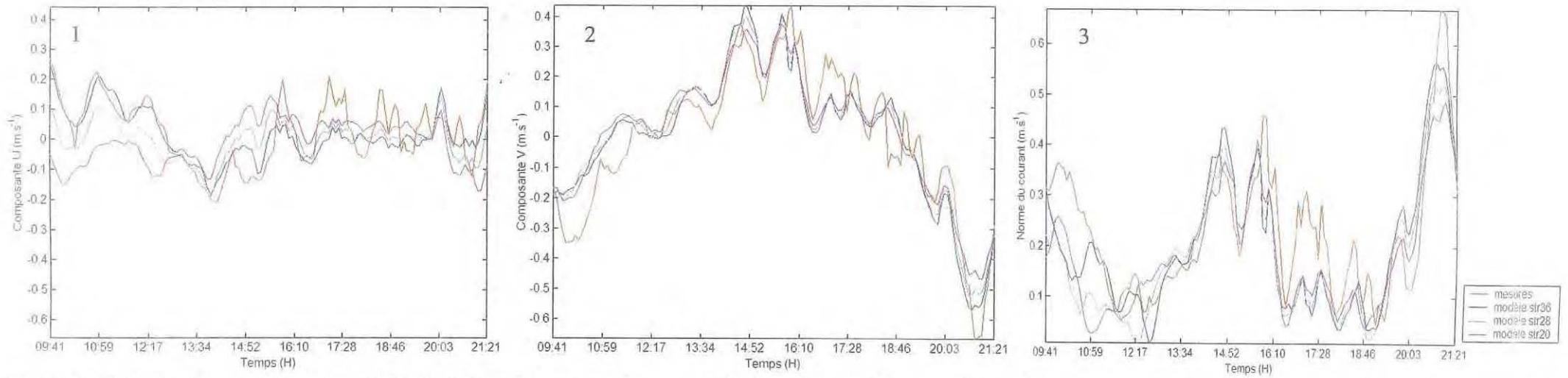


Figure A : Variation des composantes U (A.1), V (A.2), et de la norme du courant (A.3) en fonction du temps. La courbe rouge correspond aux mesures ADCP réalisées lors de la campagne du 6 mai 2004. Les trois autres courbes correspondent aux résultats du modèle obtenus pour différentes valeurs du coefficient de Strikler.

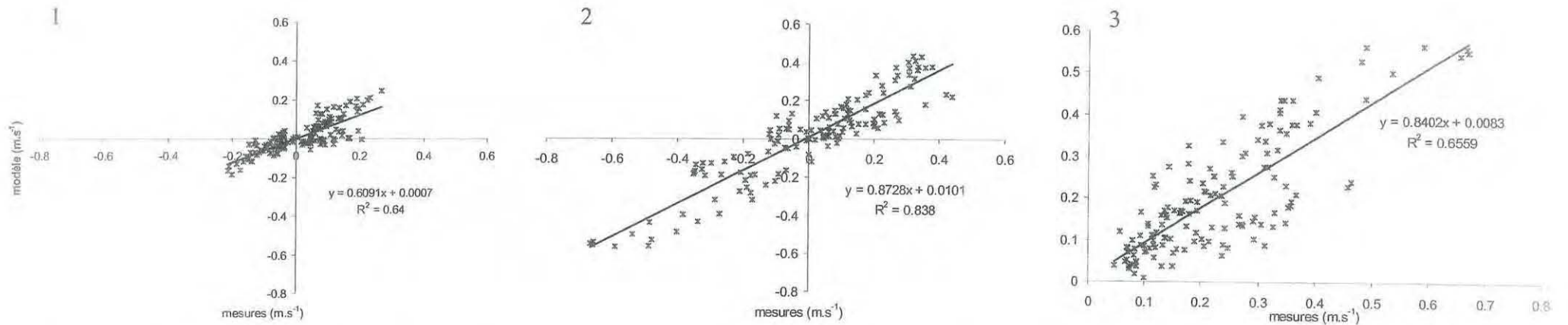


Figure B : Corrélation entre les mesures ADCP et les résultats du modèle (Strikler à 36) pour la composante U (B.1), V (B.2) et la norme du courant (B.3).

Planche 2 : Validation sur les courants (transect des îles Saint-Marcouf)

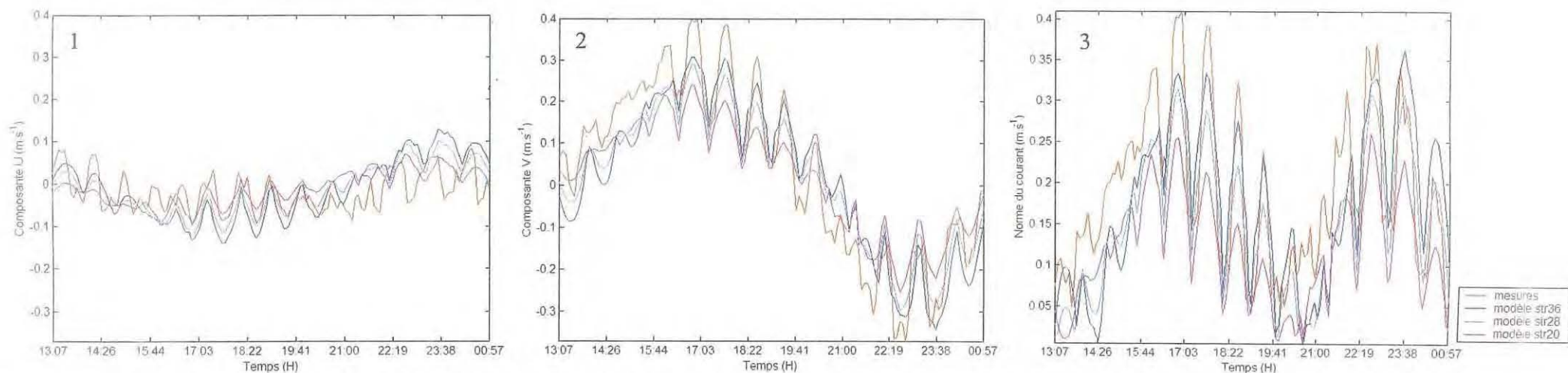


Figure C : Variation des composantes U (C.1), V (C.2), et de la norme du courant (C.3) en fonction du temps. La courbe rouge correspond aux mesures ADCP réalisées lors de la campagne du 25 novembre 2002. Les trois autres courbes correspondent aux résultats du modèle obtenus pour différentes valeurs du coefficient de Strikler.

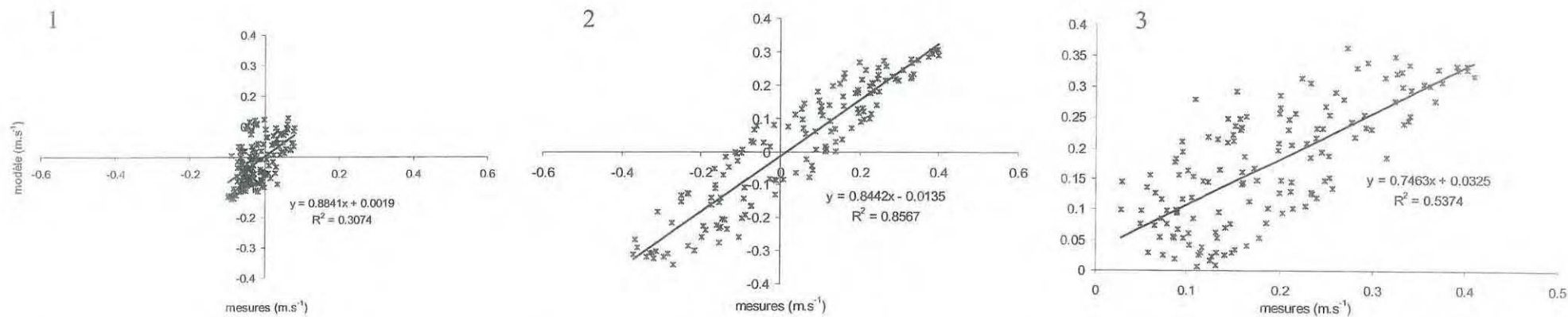


Figure D : Corrélation entre les mesures ADCP et les résultats du modèle (Strikler à 36) pour la composante U (D.1), V (D.2) et la norme du courant (D.3).

## IV. Simulation des scénarii d'apports par les bassins versants

### 1. Résultats

Les apports d'eau douce en baie des Veys proviennent essentiellement du chenal d'Isigny réunissant les apports de l'Aure et de la Vire à l'est, et du chenal de Carentan rassemblant ceux de la Douve et de la Taute à l'ouest. Afin d'étudier l'influence respective des apports de ces deux estuaires sur les concessions ostréicoles, deux traceurs conservatifs ont été injectés dans chacun des chenaux. Afin de faciliter l'estimation des taux de dilution, les flux des ces deux traceurs ont été choisis de telle manière que la concentration du rejet soit toujours égale à 1 unité par  $m^3$ .

Trois points de suivi ont été localisés sur la zone de parcs (figure 17) afin d'étudier les variations temporelle de la salinité et des concentrations des deux traceurs. Les deux premiers points ont été placés chacun à une extrémité de la zone, et le troisième au centre de manière à couvrir l'ensemble du secteur.

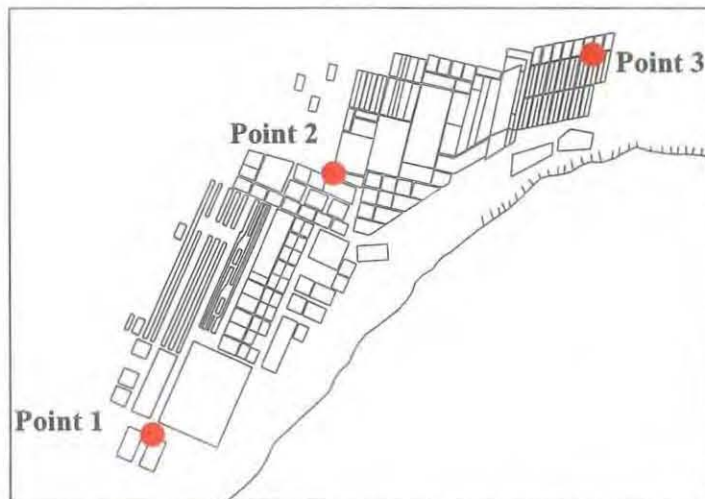


Figure 17 : Positionnement des trois points de suivis sur la zone des parcs.

Afin de caractériser au mieux l'influence des apports des bassins versants en baie des Veys, deux échelles d'analyses ont été définies. La première cherche à mettre en évidence les variations spatiales des apports des rivières à l'échelle de la baie. Alors que la seconde étudie plus précisément les variations de salinité et de concentration des traceurs sur les zones de parcs.

#### 1.1. Variations spatiales à l'échelle de la baie

Les résultats des simulations sont présentés sur les planches 3 à 5 (celles-ci sont situées à la fin de ce chapitre (chap. IV)). Chaque planche représente les variations d'une condition aux limites : la planche 3 regroupe les différents scénarii étudiant l'influence du débit (Q50, Q90 et Crue), la planche 4 représente les variations de vitesses de vent (sans vent,  $5 m.s^{-1}$  NW,  $7 m.s^{-1}$  NW et  $10 m.s^{-1}$  NW), et enfin la planche 5 représente les variations de direction de vent ( $7 m.s^{-1}$  NW,  $7 m.s^{-1}$  SW et  $7 m.s^{-1}$  NE).

Sur chacune des planches la première ligne de figures représente l'évolution de la salinité en fonction des différents scénarii, la seconde l'évolution du traceur rejeté dans le chenal d'Isigny et la troisième l'évolution du traceur rejeté dans le chenal de Carentan. Enfin, chaque figure représente une carte illustrant les zones d'influence des panaches des rivières en fonction des différents scénarii.

Ces différentes cartes ont été réalisées à la mi-marée en période de flot lors de la première marée du 2 mai 2004 (coefficient 72). Cette date a été retenue car elle présente un coefficient de marée moyen. Quant au moment de la marée, la période de flot a été retenue car c'est le moment où le mélange entre l'eau douce et l'eau de mer qui s'est fait à basse mer va passer sur les zones de parcs.

### 1.1.1. Influence du débit

En ce qui concerne la salinité, les résultats montrent que l'augmentation du débit entre Q50, Q90 et la crue, s'accompagne d'une diminution de la salinité dans le panache des rivières se retrouvant en baie (planche 3). En effet, dans la zone située au centre de la baie où les deux panaches semblent se rejoindre, la salinité varie de 26 à 30 pour le Q50, de 22 à 28 pour le Q90 et de 15 à 24 pour la crue. Cependant, quel que soit le débit le panache de dessalure n'atteint jamais la zone de parcs. Par ailleurs, c'est en période de crue que les panaches provenant des deux chenaux se mélangent le plus.

Les cartes réalisées à partir des deux traceurs rejetés dans chacun des chenaux permettent de caractériser l'influence de chaque panache pris séparément. D'une manière générale, le panache provenant du chenal d'Isigny est principalement observé dans la partie centrale de la baie, alors que celui provenant de Carentan se retrouve toujours un peu plus à l'ouest de ce dernier. Quant aux variations du débit, la tendance est similaire à celle de la salinité, c'est-à-dire que l'augmentation du débit va s'accompagner d'une diminution des taux de dilution retrouvés dans la baie. Les résultats montrent que, quel que soit le débit, les taux de dilutions provenant du chenal d'Isigny sont toujours plus faibles que ceux provenant du chenal de Carentan.

Enfin, pour les deux traceurs, la comparaison des trois scénarii indique que la zone de dilution s'étend lorsque le débit augmente. En effet, les taux de dilution du rejet d'Isigny retrouvés sur les parcs sont en moyenne de 99,5 % pour le Q50, 95 % pour le Q90 et 92 % pour la crue. Le rejet provenant de Carentan présente des taux de dilution moyens respectivement égaux à 99,7 %, 98 % et 96 % pour les débits correspondants. Cependant, quel que soit le scénario et le traceur étudié, à l'échelle de la baie les taux de dilution observés dans la partie est sont toujours inférieurs à ceux observés à l'ouest.

### 1.1.2. Influence de la vitesse du vent

D'une manière générale, l'augmentation de la vitesse du vent d'orientation nord-ouest tend à repousser les panaches des deux chenaux vers le sud-est (planche 4). Un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  a principalement une influence sur le panache issu de Carentan, en le déplaçant légèrement vers le sud-est, ce qui tend à réunir les deux panaches. Une augmentation de la vitesse du vent à  $7 \text{ m.s}^{-1}$  induit cette fois un déplacement séparé des deux panaches vers le sud-est les rapprochant de la zone des parcs. Enfin, un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  crée un déplacement du panache provenant du chenal d'Isigny directement sur la zone de parcs, et un déplacement du panache provenant de Carentan en bordure de celle-ci.

Le mouvement des panaches en fonction de la vitesse du vent induit des variations de salinité sur la zone de parcs, notamment à partir de  $10 \text{ m.s}^{-1}$ . Ainsi, les minima observés pour les 4 scénarii sont d'environ 32,92 en absence de vent, 32,74 avec un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$ , 32,25 pour un vent de  $7 \text{ m.s}^{-1}$ , et enfin 19,7 pour un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$ .

Les taux de dilution des traceurs diminuent également sur la zone de parcs parallèlement à l'augmentation de la vitesse du vent. Les taux minimaux sont observés pour le scénario présentant un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$ , et atteignent 40 % pour le rejet d'Isigny et 75 % pour le rejet de Carentan.

### 1.1.3. Influence de la direction du vent

La direction du vent a une influence notable sur l'orientation des panaches dans la baie (planche 5). Un vent de secteur nord-ouest a tendance à déplacer les panaches vers le sud-est. Le vent de secteur sud-ouest a une influence plus forte sur le panache provenant de Carentan que sur celui d'Isigny. Ainsi, en déplaçant le panache issu de Carentan vers l'est, il tend à réunir les deux panaches en un seul situé au centre de la baie. Enfin, le vent de secteur nord-est a tendance à repousser les deux panaches vers l'ouest, les éloignant ainsi de la zone de parcs. Cependant, son influence semble plus importante sur le panache issu de Carentan.

Les variations de salinité sur les parcs indiquent que les plus faibles valeurs sont observées dans le cas d'un vent de secteur nord-ouest (32,5 en moyenne), alors que pour les vents de secteur sud-ouest et nord-est on retrouve respectivement 32,8 et 33 sur la même zone.

En ce qui concerne les traceurs, les plus faibles taux de dilution retrouvés sur les parcs proviennent du scénario présentant un vent de secteur nord-ouest (87 % pour Isigny et 92 % pour Carentan). Pour les deux autres scénarii - sud-ouest et nord-est - les taux de dilution sont d'environ 92 % et 97 % pour Isigny et 96 % et 98 % pour Carentan.

Enfin, que ce soit pour les deux traceurs ou pour la salinité, les résultats obtenus avec le scénario présentant un vent de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  sud-ouest sont relativement similaires avec ceux obtenus pour le scénario simulant un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  nord-ouest (planche 4).

## 1.2. Variations spatio-temporelles au niveau de la zone des parcs

### 1.2.1. Variations temporelles sur les points de suivi

Afin d'étudier les variations temporelles de la salinité et des concentrations des deux traceurs rejetés dans les chenaux au niveau de la zone de parcs, trois points de suivis ont été définis (figure 17).

Les résultats obtenus sur ces points de suivis pour le scénario présentant un Q90 sans vent sont présentés sur les planches 6 à 8 : la planche 6 présente les variations des différents paramètres sur une période de 15 jours (du 22 avril au 6 mai 2004 ; cycle mortes-eaux/vives-eaux). La planche 7 présente un agrandissement sur deux cycles de marée en période de vives-eaux (5 mai 2004, coefficient 104). Enfin, la planche 8 représente deux cycles en période de mortes-eaux (27 avril 2004, coefficient 37).

De la même façon que pour les cartes présentées précédemment, la première ligne de graphiques correspond à la salinité, la seconde au traceur d'Isigny et la dernière au traceur de Carentan. Sur chaque ligne trois graphiques sont présentés. Le premier correspond au point situé le plus à l'intérieur de la baie (point 1), le second à celui situé au centre des parcs (point 2) et le dernier au point situé le plus à l'extérieur de la baie (point 3).

Il est à noter que les ruptures apparaissant sur les courbes indiquent que le point étudié découvre lors de la marée descendante.

L'analyse des résultats obtenus sur un cycle vives-eaux/mortes-eaux (planche 6) indique que les variations de salinité et de concentrations des traceurs sont nettement plus importantes en période de vives-eaux (1-6 mai) qu'en période de mortes-eaux (26-30 avril). Les variations spatiales entre les différents points montrent que les plus fortes dessalures sont observées sur le point 1 avec des salinités pouvant atteindre 27 en période de vives-eaux, alors que celles-ci n'atteignent que 32,55 et 32,85 pour les points 2 et 3 respectivement. En ce qui concerne le traceur rejeté à Isigny, la même tendance est observée : les plus fortes concentrations sont retrouvées sur le point 1 (de l'ordre de  $10^{-2}$  u.m<sup>-3</sup>) alors que pour les points 2 et 3, les concentrations observées sont de l'ordre de  $10^{-3}$  u.m<sup>-3</sup>. Enfin, pour le traceur rejeté à Carentan, quel que soit le point observé, les concentrations retrouvées sont assez faibles (de l'ordre de  $10^{-4}$  u.m<sup>-3</sup> environ).

Les agrandissements réalisés sur les planches 7 et 8 permettent de mettre en évidence l'évolution des paramètres étudiés au cours d'un cycle de marée.

En période de vives-eaux (planche 7), les résultats obtenus pour le point 1 indiquent que les plus faibles salinités sont retrouvées juste après la basse mer au moment où la marée recouvre le point (ca. 29-29,5). Ensuite, la salinité augmente rapidement pour atteindre la valeur de l'eau de mer (33), salinité à laquelle elle va se maintenir durant la pleine mer (vers 11 h pour la première marée et 23 h 30 pour la seconde). Lorsque la marée redescend, une diminution de la salinité est observée (de l'ordre de 1 unité) suivi d'une très légère augmentation (0,2) précédant le découvrément du point.

Pour le point 2, le schéma est globalement le même à la différence que lorsque la marée redescend, l'amplitude de dessalure est légèrement plus importante (0,4) que celle retrouvée lors du flot (0,25).

Sur le point 3, il n'y a pas de véritable dessalure, seul un bruit de fond est observé (variation de 0,02). Cependant, celui-ci présente tout de même une structure similaire à celle décrite précédemment. Du point de vue quantitatif, les plus fortes dessalures sont retrouvées sur le point 1 (ca. 3-4) alors que les deux autres points de suivis présentent des dessalures inférieures à 0,5.

Quant à l'évolution des traceurs sur les points de suivis, les résultats montrent que, quel que soit le point, leur comportement suit le schéma inverse de celui de la salinité. Par exemple, pour le point 1 les plus fortes concentrations sont observées juste après la période de découvrément (ca.  $0,06$  u.m<sup>-3</sup> pour le traceur d'Isigny et ca.  $4 \cdot 10^{-4}$  u.m<sup>-3</sup> pour celui de Carentan). Ensuite, celles-ci diminuent rapidement pour atteindre des concentrations relativement faibles au moment de la pleine mer (de l'ordre de  $10^{-3}$  u.m<sup>-3</sup> pour Isigny et  $0,5 \cdot 10^{-4}$  u.m<sup>-3</sup> pour Carentan). Au moment du jusant, les concentrations vont augmenter légèrement pour atteindre des valeurs de  $0,01$  u.m<sup>-3</sup> pour Isigny et  $2,5 \cdot 10^{-4}$  u.m<sup>-3</sup> pour Carentan au moment où le point découvre. Les mêmes schémas sont observés entre l'évolution de la salinité et l'évolution des traceurs pour les points 2 et 3.

Enfin, de la même façon que pour la salinité, les plus fortes valeurs de concentrations sont observées pour le point 1, quel que soit le traceur. De plus, pour chacun des points, les concentrations simulées sont toujours supérieures pour le traceur d'Isigny.

Les variations de salinité et de concentrations des traceurs obtenues pour le point 1 en période de mortes-eaux (planche 8) présentent le même schéma que celles observées en vives-eaux. Par contre, les ordres de grandeurs observés sont nettement inférieurs. En effet, l'amplitude maximale de dessalure n'est que de 0,18 au moment du flot et de 0,04 au moment du jusant. Quant aux concentrations des traceurs, celles provenant d'Isigny sont 10 fois inférieures à celles retrouvées en vives-eaux, et celles provenant de Carentan présentent une diminution d'un facteur 1000.

Pour les points 2 et 3, les résultats montrent que les courbes ne présentent plus de ruptures, ce qui indique que ces points ne découvrent pas durant les mortes-eaux. De plus, ils ne présentent pas de variations de salinité, et bien que les courbes des traceurs présentent de légères variations, les concentrations maximales enregistrées sont négligeables (de l'ordre de  $10^{-8} - 10^{-9} \text{ u.m}^{-3}$ ). Ainsi, en mortes-eaux par vent nul et avec un débit équivalent à Q90, les points 2 et 3 ne sont quasiment pas sous l'influence des rejets des chenaux d'Isigny et de Carentan.

Il est à noter que pour les autres scénarii testés (différents débits, différentes conditions de vent), les allures des courbes obtenues sur les 3 points sont similaires à celles présentées sur les planches 6 à 8. Seul les valeurs de dessalures et de concentrations des traceurs vont différer (cf. partie 1.2).

### 1.2.2. Estimation de la dilution des apports par Isigny et par Carentan sur la zone des parcs

Les résultats présentés précédemment ont permis de caractériser de manière qualitative l'influence des apports des bassins versants en baie des Veys, et plus particulièrement sur la zone de parcs. Afin de compléter ces résultats, une première quantification de ces apports a été réalisée. Celle-ci est basée sur les résultats obtenus sur les 3 points de suivi placés sur les parcs.

#### ➤ Taux de dilution des traceurs

Sur la base des variations de concentrations des deux traceurs retrouvés sur les parcs, des taux de dilution moyens et minimaux ont été calculés pour les 3 points de suivis. Pour chaque scénarii, ces taux de dilution ont été estimés sur les 15 jours de données récupérées.

Les résultats obtenus pour les différents scénarii sont relativement proches.

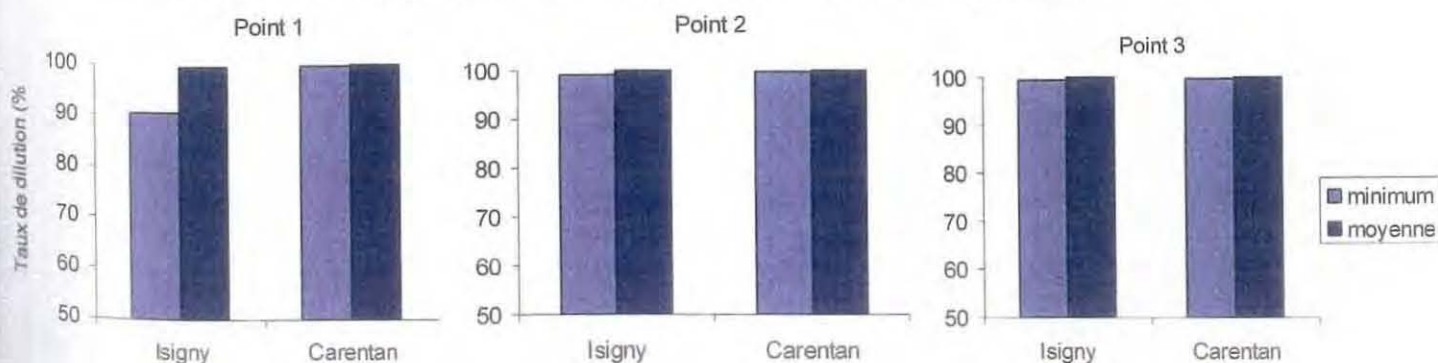


Figure 18 : Taux de dilution moyens et minimaux calculés sur les 15 jours de données récupérées, pour les trois points de suivi de la zone des parcs. (Scénario Q90, sans vent).



La figure 18 illustre les résultats obtenus pour le scénario présentant un débit de type Q90 avec un vent nul. Quel que soit le point étudié, le taux de dilution moyen est supérieur à 99 % pour les deux traceurs, et, les taux minimaux de dilution sont toujours supérieurs à 98 % sauf au point 1 qui présente une dilution minimale de 90 % pour le traceur d'Isigny. Les autres scénarii réalisés présentent des résultats relativement similaires. Seul le scénario présentant un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  montre des variations significatives de ces taux de dilution. Ces résultats sont présentés sur la figure 19.

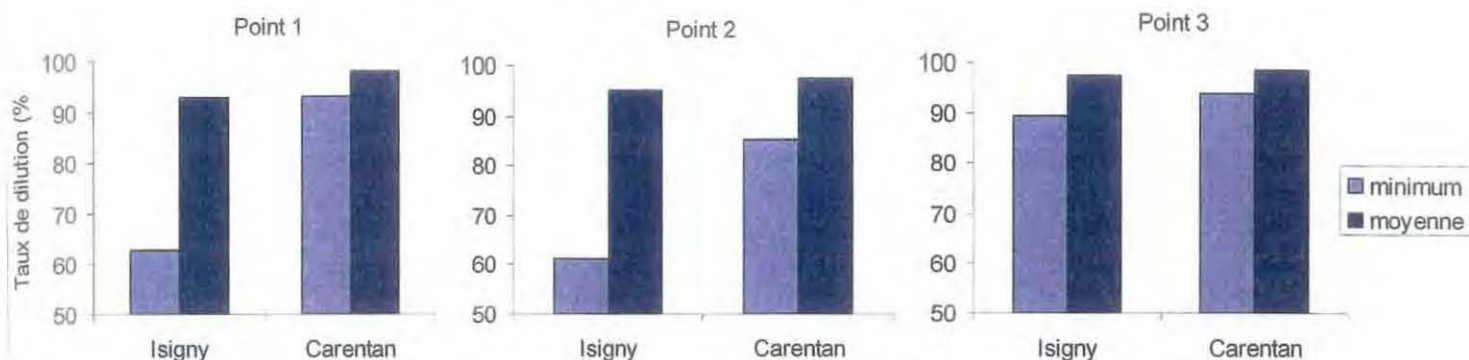


Figure 19 : Taux de dilution moyens et minimaux calculés à partir du scénario présentant un débit de Q90 et un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  NW, sur les 15 jours de données récupérées, pour les trois points de suivi de la zone des parcs

En ce qui concerne les taux de dilution moyens, ceux-ci restent relativement élevés *ca.* 97 % pour le traceur de Carentan et entre 92 et 97 % pour celui d'Isigny.

Les principales différences par rapport aux autres scénarii sont observées pour les taux minimaux de dilution. En effet, pour le traceur d'Isigny, ceux-ci sont de 61, 62 et 89 % respectivement pour les points 1, 2 et 3, et pour le traceur de Carentan ils sont de 93, 85 et 94 % pour les mêmes points.

L'ensemble de ces résultats indique qu'au niveau des zones de parcs les concentrations observées sont toujours plus faibles pour le traceur provenant de Carentan que pour celui provenant d'Isigny, et que c'est avec le scénario présentant un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  que les plus fortes concentrations ont été observées sur les parcs.

➤ Influence respective sur la zone des parcs des deux sources d'apports : Isigny et Carentan

Etant donné que les traceurs placés dans les deux chenaux sont différents, les proportions entre les deux traceurs observées sur la zone des parcs permettent d'estimer leur influence respective sur celle-ci.

Les figures des planches 9 à 11 présentent les pourcentages d'influence des apports provenant de Carentan par rapport à ceux provenant d'Isigny pour chaque point de suivi, en fonction des différents scénarii.

La planche 9 montre les résultats des scénarii pour lesquels le débit a été modifié (Q50, Q90, crue), la planche 10 regroupe ceux où la vitesse du vent a été modifiée ( $5, 7, 10 \text{ m.s}^{-1}$ ) et enfin, la planche 11 concerne les variations dans la direction du vent (NW, SW, NE).

L'ensemble des résultats présentés sur ces 3 planches montre d'une part, que le pourcentage d'influence des apports provenant du chenal d'Isigny est toujours supérieur à celui des apports provenant du chenal de Carentan. D'autre part, il indique aussi que, quel que soit le scénarii, le point 3 est toujours plus influencé que les points 1 et 2 par les apports de Carentan, alors que le point 1 est toujours celui qui subit la plus faible influence.

D'après les résultats présentés sur la planche 9, il semble qu'une augmentation du débit provoque une augmentation de l'influence des apports de Carentan sur les points 1 et 2. En effet, ceux-ci varient respectivement de 0,63 à 3,3 % pour le point 1 et de 0,89 à 15,2 % pour le point 2 entre les scénarii présentant un Q50 et un débit de crue. Au niveau du point 3, les variations du débit ne semblent pas avoir d'influence sur les apports respectifs des deux chenaux. Par contre, les résultats montrent que sur ce point, les apports de Carentan ont une influence assez forte (ca. 25 % pour les 3 scénarii).

L'étude de la vitesse du vent (planche 10) indique qu'une augmentation de celle-ci entre 0 et 10 m.s<sup>-1</sup> provoque une augmentation régulière de l'influence des apports provenant de Carentan sur les trois points de suivi. En effet, celle-ci passe de 2 à 22 % pour le point 1, de 12 à 33 % pour le point 2 et enfin de 25 à 38 % pour le point 3.

Les variations dans la direction du vent (planche 11) montrent une influence différente selon les points de suivis. Pour le point 1, l'évolution entre un vent de nord-ouest, un vent de sud-ouest et un vent de nord-est se traduit par une diminution des apports provenant de Carentan de 11 à 1 %.

Pour les points 2 et 3, la direction du vent induisant la plus faible influence des apports de Carentan est le sud-ouest avec respectivement 9 et 16 %. Pour les deux autres directions, une tendance inverse est observée entre ces deux points : le nord-ouest induit la plus forte influence de Carentan au point 2 (23 % contre 14 % pour le nord-est), alors que pour le point 3, c'est le vent de nord-est qui induit une influence légèrement supérieure des apports de Carentan (32 % contre 30 % pour le nord-ouest).

#### ➤ Etude de la dessalure

Les résultats portant sur l'étude de la salinité sont également présentés sur les planches 9 à 11. Ces différents graphiques présentent pour chaque scénario la salinité minimale et l'amplitude maximale de dessalure observée sur les 15 jours analysés.

Les résultats montrent que quel que soit le scénario les plus fortes dessalures sont observées sur le point 1, alors que sur les points 2 et 3 celles-ci sont généralement assez faibles.

Les résultats de l'étude des variations de débit présentées sur la planche 9 montrent pour les 3 points une augmentation de l'amplitude de dessalure parallèle à l'augmentation du débit. En effet, celle-ci varie de 4 à 10 sur le point 1, de 0,4 à 0,6 sur le point 2 et enfin de 0 à 0,2 pour le point 3.

De même l'augmentation de la vitesse du vent se traduit par une augmentation de la dessalure sur tous les points (planche 10). Cependant, celle-ci n'est pas régulière car pour les 3 points une augmentation du vent de 0 à 7 m.s<sup>-1</sup> n'induit qu'une augmentation de la dessalure inférieure à 1 unité quand le vent passe d'une vitesse à une autre. Par contre, le passage à un vent de 10 m.s<sup>-1</sup> induit une augmentation de la dessalure de 3,5, 10 et 4 unités respectivement pour les points 1, 2 et 3. Cette variation est donc la plus marquée pour le point 2.

Enfin, l'étude de la direction du vent montre que les plus faibles dessalures sont observées avec un vent de secteur nord-est, et les plus fortes avec un vent de secteur nord-ouest pour les points 2 et 3, et sud-ouest pour le point 1.

### 1.3. Etude de l'hydrodynamisme

#### 1.3.1. Calcul de trajectoires

Les calculs de trajectoires présentés sur la planche 12 ont été réalisés à partir des scénarii présentant différentes directions de vent.

La première ligne de figures représente les trajectoires de deux particules lâchées en face des chenaux d'Isigny et de Carentan au moment de la pleine mer, alors que la deuxième ligne représente celles lâchées à basse mer. Sur chaque ligne, les figures présentées correspondent à des simulations où le débit est égal à Q90, tout d'abord sans vent, puis avec des vents de 7 m.s<sup>-1</sup> respectivement de secteur nord-ouest, sud-ouest et nord-est.

Les trajectoires ont toutes été calculées en période de vives-eaux (3 et 4 mai 2004, coefficient 86 à 101). Afin d'améliorer la clarté des résultats, la durée du calcul a été fixée à 2 jours car il s'est avéré que celle-ci suffisait à faire ressortir la direction principale de la trajectoire.

Globalement, les résultats obtenus montrent que le comportement des particules est assez différent lorsque celles-ci sont relâchées à pleine mer ou à basse mer.

En ce qui concerne les particules rejetées à pleine mer, les résultats de la simulation réalisée sans vent indiquent que les deux particules vont sortir de la baie en se dirigeant vers le nord-ouest. Pour la particule lâchée à l'ouest de la baie, un seul cycle de marée suffit à la faire sortir alors qu'il en faut 3 pour celle située à l'est.

Dans le cas d'un vent de secteur nord-ouest, la trajectoire obtenue pour la particule lâchée à l'est est relativement proche de celle obtenue pour le scénario sans vent. La principale différence étant que la particule va mettre un peu plus de temps à sortir de la baie (4 cycles de marée). La seconde particule, dans un premier temps, va être repoussée vers l'est de la baie, puis après deux cycles de marée, en sortir en se dirigeant vers le nord.

Pour le vent de secteur sud-ouest, les trajectoires des deux particules sont quasiment identiques à celles décrites pour le scénario précédent. Enfin, un vent de secteur nord-est va avoir tendance à repousser les particules vers le nord-ouest. Ces trajectoires sont très proches de celles observées avec le scénario sans vent, à la différence que dans ce cas, elles sortent de la baie dès le premier cycle de marée.

Pour les particules rejetées à basse mer, les résultats du scénario sans vent indiquent qu'elles vont quitter assez rapidement la baie (après 1 ou 2 cycles de marée) en se dirigeant vers le nord. Avec un vent de secteur nord-ouest, les particules vont elles aussi quitter la baie en allant vers le nord, mais, seulement après 3 ou 4 cycles de marée.

Pour un vent de secteur sud-ouest, les résultats montrent que celui-ci tend à contenir les particules dans la baie, notamment celles lâchées dans le secteur est. Sur les 4 cycles de marée représentés, la particule suit toujours la même trajectoire, celle-ci étant parallèle à la côte est de la baie. Ce dernier résultat illustre bien la différence de trajectoires obtenues entre des particules relâchées à pleine mer ou à basse mer. En effet, dans le cas d'un rejet à basse mer, le vent de sud-ouest a tendance à maintenir les particules dans la baie, alors qu'après un rejet à pleine mer les particules sortent du système après quelques cycles de marée.

Enfin, pour le scénario avec un vent de secteur nord-est les particules sortent de la baie après deux cycles de marée environ. Une fois à l'extérieur, l'évolution des trajectoires indique que celles-ci vont être repoussées vers le nord-ouest. Cependant, les trajectoires sont moins localisées contre la côte comme c'était le cas suite à un rejet à pleine mer.

### 1.3.2. Estimation des temps de résidence

Trois estimations du temps de résidence de l'ensemble de la baie des Veys ont été calculées au cours de cette étude. La première a été faite à partir d'une simulation ne présentant aucun débit afin de déterminer le temps de résidence maximal en baie, la seconde avec un débit correspondant au Q50 et la troisième avec un Q90. Les coefficients de marée utilisés correspondent au mois d'avril 2004.

La figure 20 représente la courbe de disparition de la masse introduite dans la baie au cours du temps.

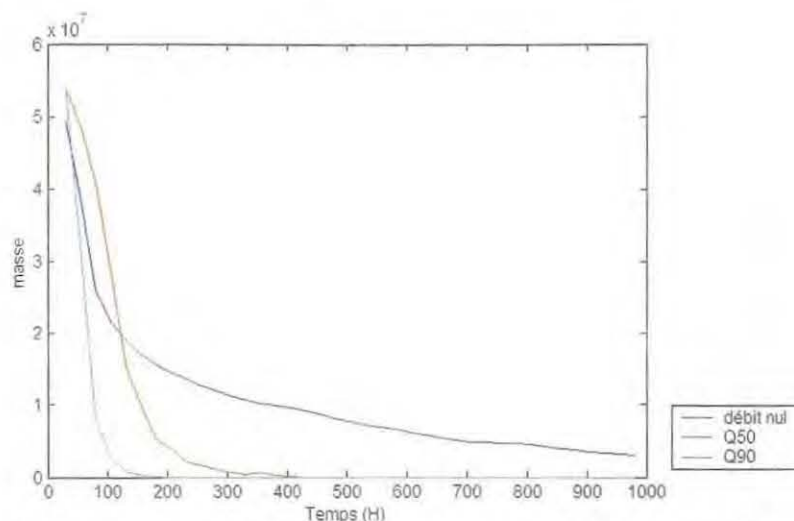


Figure 20 : Courbe de disparition de la masse au cours du temps pour un débit nul, un débit égal au Q50 et au Q90.

Ces résultats montrent que l'augmentation du débit se traduit par une disparition beaucoup plus rapide de la masse introduite dans le système. Ainsi, le temps de résidence moyen d'une particule d'eau dans la baie est de 164 heures (ca. 6,8 jours) en absence de débit, 112 heures (ca. 4,6 jours) pour un débit égal au Q50 et 60 heures (ca. 2,5 jours) pour un débit égal au Q90.

Ces résultats représentent des temps de résidence moyens sur l'ensemble de la baie. Ainsi, selon les secteurs, ceux-ci vont être plus ou moins longs. Il serait donc intéressant d'effectuer des estimations plus fines des temps de résidence en différentes zones de la baie et notamment au niveau des parcs.

Ces estimations n'ont pu être faites au cours de ce travail, mais, à l'aide des résultats obtenus au cours des simulations précédentes (Q50 et Q90), une première caractérisation du temps de renouvellement des différents secteurs de la baie a néanmoins pu être réalisée.

Les cartes présentées sur la planche 13 montrent l'évolution des concentrations du traceur après 2,5, 5, 7,5 et 10 jours de simulation. La première ligne de figures présente les résultats obtenus avec un débit égal à Q50, et la seconde pour un débit égal à Q90.

Les résultats indiquent que quel que soit le scénario, le traceur sort de la baie en se dirigeant vers le nord-ouest. De même, il semble que ce soit la zone située au centre de la baie (entre les deux panaches) qui se renouvelle le plus rapidement. En effet, les concentrations dans cette zone ne sont plus que de  $0,2 \text{ u.m}^{-3}$  après 5 jours pour un débit de Q50, et de  $0,3 \text{ u.m}^{-3}$  après 2,5 jours pour un débit de Q90, alors qu'elles sont nettement supérieures à  $0,5 \text{ u.m}^{-3}$  pour le reste de la baie. De plus, pour les deux scénarii, les résultats montrent que les concentrations du traceur sont toujours plus faibles à l'est de la baie qu'à l'ouest, indiquant ainsi que cette zone se renouvelle plus rapidement.

Enfin, ces cartes montrent bien que le temps de renouvellement global de la baie est beaucoup plus long avec un débit de Q50 que de Q90. En effet, après 10 jours de simulation l'ensemble de la baie a été renouvelé (concentration  $< 0,1 \text{ u.m}^{-3}$ ) dans le cas du Q90, alors qu'il reste d'assez fortes concentrations avec le Q50 (*ca.*  $0,35 \text{ u.m}^{-3}$  à l'ouest et  $0,15 \text{ u.m}^{-3}$  à l'est).

A partir des courbes de décroissance de la masse en fonction du temps présentées à la figure 20, il a été calculé que pour renouveler 90 % de la masse du système il faut environ 27 jours en absence de débit, 7,5 jours avec un débit égal au Q50 et 3,5 jours pour un Q90.

## 2. Discussion

### 2.1. Influence de la variation des conditions aux limites sur la répartition des masses d'eau dans la baie

L'analyse des simulations mettant en évidence l'influence du débit sur la répartition des masses d'eaux en baie des Veys montre, que l'augmentation du flux d'eau douce se traduit par une diminution de la salinité mais aussi des taux de dilution des traceurs dans le panache des rivières. Ces diminutions s'expliquent par une augmentation du rapport eau douce/eau de mer dans la baie, suite à l'augmentation du débit.

Au niveau de la zone de parcs, bien que les taux de dilution calculés pour les deux traceurs diminuent légèrement quand le débit des rivières augmente, ceux-ci restent toujours relativement fort (plus de 92 %) ce qui indique une faible influence des apports par les rivières sur cette zone par vent nul.

De plus, sur l'ensemble de la baie, bien que l'étendue de la zone de dilution des traceurs varie entre les trois débits testés (planche 3) une dichotomie est-ouest est constamment observée, quel que soit le scénario. Celle-ci se traduit par des taux de dilution plus faibles dans la partie ouest de la baie que dans la partie est. Ces résultats s'expliquent par le fait que ces simulations ont été réalisées par vent nul. Ainsi, les mouvements des masses d'eau dépendent seulement des courants de marée. Or, dans ce secteur, les masses d'eau quittent la baie par l'ouest et remontent le long de la côte est cotentin lors du jusant, et, au flot, rentrent en baie par l'ouest (Le Gall et Larssonneur, 1972). Ainsi, la zone des parcs située à l'est de la baie est l'une des zones les moins touchées par les apports des rivières.

Néanmoins, l'augmentation de la vitesse du vent de secteur nord-ouest se traduit par un déplacement des panaches vers le sud-est de la baie, c'est-à-dire vers la zone de parcs. Les résultats obtenus pour un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$ , montrent que celui-ci a une influence notable seulement sur le panache issu de Carentan (planche 4) mais non significative sur celui d'Isigny. Par contre, un vent de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  génère un déplacement des deux panaches vers le sud-est de la baie. Cependant, bien que ceux-ci se rapprochent de la zone de parcs, les taux de dilution des traceurs et les dessalures observées sur cette zone ne montrent pas d'influence significative des apports de ces chenaux par rapport au scénario précédent. Par contre, le passage à un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  se traduit par une importante augmentation de la dessalure et diminution des taux de dilution des traceurs sur la zone de parcs. Ces fortes variations observées sont dues au fait que cette vitesse de vent de secteur nord-ouest va plaquer le panache issu d'Isigny directement sur la zone des parcs et en rapprocher celui de Carentan. Cependant, cette situation n'est pas la plus couramment observée en baie des Veys car cette vitesse de vent n'est enregistrée que 10 % du temps sur l'année, alors qu'un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  est observé environ 50 % du temps (Kopp et Ropert, 2000).

La direction du vent joue également un rôle important dans la structuration des masses d'eau en baie des Veys.

Les vents de secteur nord-ouest et sud ouest déplacent les panaches vers la zone des parcs. A l'inverse, les vents de secteur nord-est éloignent les panaches de cette zone, en les déplaçant vers le nord-ouest. Cependant, pour les vents de sud-ouest et de nord-est, les résultats montrent qu'à vitesse égale leur influence sur le déplacement des masses d'eaux sera moins importante que celle observée pour un vent de secteur nord-ouest, notamment en ce qui concerne le panache provenant d'Isigny.

L'ouverture de la baie sur la mer ayant une orientation nord-est, les masses d'eaux arrivant en baie par les chenaux proviennent donc du sud-ouest et se dirige vers le nord-est. Ces vents vont donc souffler parallèlement à l'écoulement des rivières. Ainsi, il se pourrait qu'à vitesse égale leur influence sur le déplacement des masses d'eau soit beaucoup plus faible que celle d'un vent de secteur nord-ouest orienté perpendiculairement au sens d'écoulement des rivières. Ceci expliquerait qu'un vent de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  de secteur nord-ouest ait quasiment la même influence qu'un vent de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  de secteur sud-ouest (planche 4 et 5).

Ces différents résultats montrent que certaines conditions vont favoriser les apports d'eau douce et d'éventuels polluants transportés par les rivières sur les zones des parcs : débit assez fort (hautes-eaux à crue), vitesse de vent importante ( $10 \text{ m.s}^{-1}$ ) et direction de secteur nord-ouest. Cependant, ces observations restent vraies si ces trois critères sont concomitants, ce qui n'exclut pas que d'autres conditions génèrent des déplacements comparables. En effet, un vent moyen à faible de secteur nord-est et un débit des rivières de type crue pourraient conduire à des apports sur les parcs proches de ceux obtenus dans le cas d'un débit d'étiage avec un vent moyen à fort de secteur nord-ouest.

Ainsi, il n'est pas possible pour chaque paramètre pris séparément de définir précisément une valeur seuil au-delà de laquelle il y aura un impact sur les parcs, car c'est la conjonction des différents paramètres qui détermine le devenir des masses d'eau, et donc si les parcs seront ou non touchés par les apports des bassins versants.

## *2.2. Variations de la salinité et des traceurs sur la zone des parcs à l'échelle du cycle de marée*

La mise en place de points de suivi a permis de caractériser les variations spatio-temporelles de salinité et de concentrations des deux traceurs injectés dans les chenaux sur la zone des parcs.

Les résultats obtenus sur un cycle vives-eaux / mortes-eaux (planche 6) indiquent que ces paramètres présentent de fortes variations à l'échelle d'un cycle de marée. Afin d'étudier ces variations, un agrandissement sur deux cycles de marée a été réalisé en vives-eaux.

Ces résultats montrent que pour chaque point la salinité varie de manière totalement inverse à la concentration des traceurs. En effet, les plus faibles valeurs de salinité sont observées parallèlement au plus fortes valeurs de concentrations de traceurs et inversement. Ces résultats s'expliquent par le fait que les traceurs arrivent en baie par l'intermédiaire des rivières. Ainsi, c'est dans l'eau douce qu'ils présentent les plus fortes concentrations. Une fois arrivée en baie, l'eau douce, et par conséquent les traceurs, vont se retrouver dilués par l'eau de mer. La salinité des eaux provenant des rivières va donc augmenter, et la concentration des traceurs diminuer.

Par exemple, au point 1 où les variations sont les plus importantes, les résultats montrent que les plus faibles salinités et les plus fortes concentrations sont observées juste au moment où le point est recouvert par la marée. Au moment de la basse mer, l'eau douce et l'eau de mer se mélangent à la sortie de la baie, et, la première eau remontant lors du flot est donc dessalée, et celle présentant les plus fortes concentrations. Puis, les masses d'eau suivantes passant à ce point vont être de plus en plus « marines » jusqu'à atteindre, au moment de la pleine mer, la salinité de l'eau de mer et des concentrations en traceurs relativement faibles. Au moment du jusant, le schéma inverse est observé. Au fur et à mesure que la marée descend, la salinité va diminuer et les concentrations vont augmenter jusqu'à ce que le point découvre.

Globalement, ce schéma est retrouvé sur les trois points étudiés à chaque cycle de marée. Cependant, de petites variations dans les allures des courbes de dessalure et de concentration en traceur sont observées entre les différents points. Celles-ci s'expliquent par des variations locales dans les mouvements des masses d'eau.

Par contre, l'amplitude de variation de la salinité et des traceurs varie fortement entre les points de suivi, celle-ci étant beaucoup plus importante pour le point 1 que pour les deux autres points.

La figure suivante représente le déplacement de la zone de mélange (eau douce/eau de mer) sur la zone des parcs au moment du flot.

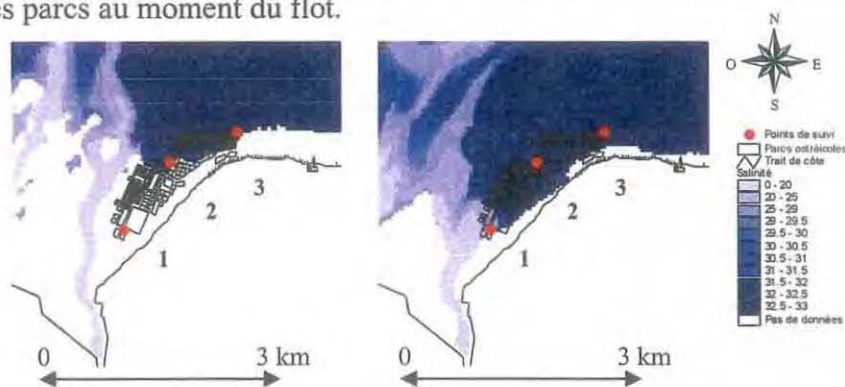


Figure 21 : Déplacement de la zone de mélange (eau douce/eau de mer) au cours du flot lors de la première marée du 5 mai 2004.

La figure 21 (a et b) représente respectivement le passage de la première eau sur les points 2 et 3 et sur le point 1 durant le flot. Ces résultats montrent, que pour le point 3 (figure 21.a) la zone de mélange entre l'eau douce et l'eau de mer passe relativement loin de ce point, expliquant ainsi, les faibles dessalures observées (planche 9 à 11).

Le point 2 est recouvert à peu près en même temps que le point 3 (figure 21.a). Cependant, la zone de mélange va passer à proximité de celui-ci, ce qui explique qu'il présente des dessalures un peu plus importantes, bien que toujours assez faibles. Enfin, pour le point 1, les résultats présentés sur la figure 21.b montrent qu'une partie de la zone de mélange va passer sur ce point, induisant ainsi les plus fortes dessalures.

D'après les amplitudes maximales de dessalures présentées sur les planches 9 à 11, il semble que ces résultats se vérifient quel que soit le scénario, à l'exception de celui présentant un Q90 et un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  NW où les plus fortes dessalures sont observées sur le point 2. Dans ce scénario, le vent induisant un déplacement du panache provenant d'Isigny directement sur les parcs, la zone de mélange des masses d'eau est déplacée directement sur le point 2. Cependant, ce dernier scénario ne représente pas des conditions très fréquentes en baie des Veys. Ainsi, la synthèse de ces résultats montre que dans l'ensemble, les parcs situés

le plus à l'intérieur de la baie sont susceptibles de subir une influence plus forte des apports provenant des bassins versants que ceux situés vers la sortie de la baie. Ces conclusions sont valables dans le cadre des scénarii réalisés au cours de cette étude. Ainsi, il serait intéressant à partir de ces résultats de tester d'autres conditions afin de voir si cette tendance se vérifie.

Ces différents résultats montrent que la salinité et les concentrations des traceurs présentent d'importantes variations sur la zone des parcs à l'échelle du cycle de marée, les plus fortes variations de ces paramètres étant essentiellement observées au moment où la première eau passe sur ces points. Ainsi, l'influence des apports des bassins versants sur la zone de parcs va varier en fonction des coefficients de marée. En effet, en période de vives-eaux l'influence de ces apports sera plus forte du fait du mélange plus important se produisant entre les masses d'eau, alors qu'en mortes-eaux les résultats ont montré que les parties centrale et nord des parcs ne sont quasiment pas touchées par ces apports. Ces deux secteurs ne découvrant pas en période de mortes-eaux, la zone de mélange ne passera donc pas sur ces points.

### *2.3. Caractérisation de l'hydrodynamisme dans la baie*

Les calculs de trajectoires et de temps de résidence réalisés confirment les résultats obtenus précédemment.

En effet, sur les scénarii sans vent les trajectoires de particules ont montré que celles-ci avaient tendance à sortir rapidement de la baie en se dirigeant vers le nord ou l'ouest. De même, l'évolution temporelle du traceur introduit dans la baie a montré que celui-ci sortait de la baie en se dirigeant vers l'ouest suivant ainsi le sens des courants de marée comme cela a été montré précédemment.

La détermination des temps de résidence a montré d'une part, qu'en absence de débit le temps de résidence moyen d'une particule située dans la baie des Veys est d'environ 6,8 jours. La comparaison avec la baie de Vilaine – baie ouverte, située sur la côte sud Bretagne – (Chapelle, 1991) où le temps de résidence a été estimé à 50 jours indique, une assez faible résidence des masses d'eau en baie des Veys.

D'autre part, l'augmentation du débit induit une diminution de la résidence dans la baie (4,5 jours avec un Q50 et 2,5 jours avec un Q90).

Ainsi, ces observations expliquent que quel que soit le scénario, le renouvellement est plus rapide dans la partie est de la baie (planche 13). En effet, le débit provenant d'Isigny étant toujours plus important que celui provenant de Carentan (Godefroy et Etourneau, 1994), les particules de ce secteur vont être plus rapidement chassées hors du système.

Ces différents résultats traduisent aussi le fait qu'une augmentation du débit va favoriser le renouvellement du système.

Chapelle (1991) a montré qu'en baie de Vilaine le temps de résidence était réduit de 50 à environ 8 jours sous l'effet du vent. Ainsi, il serait intéressant de voir si le vent a aussi une influence sur le temps de résidence des masses d'eau en baie des Veys.

Les trajectoires calculées pour différentes directions de vent, confirment que celles-ci vont avoir une influence notable sur le devenir des particules dans la baie.

Les résultats obtenus montrent qu'un vent de secteur nord-est va favoriser le départ des particules de la baie vers le nord-ouest les éloignant ainsi de la zone des parcs. Par contre, un vent de secteur sud-ouest ou nord-ouest va avoir tendance à maintenir les particules dans la baie, ce qui corrobore les résultats obtenus sur la planche 5.



Le calcul de trajectoires réalisé pour le scénario présentant un vent de secteur sud-ouest, et des particules lâchées à basse mer indique que les particules semblent être confinées dans la baie, et notamment, celle située à l'est qui présente une trajectoire identique sur les 4 cycles de marée représentés (planche 12). Afin de voir si cette trajectoire se maintient le même calcul a été réalisé sur une durée de 7 jours (soit 14 cycles de marée, figure 22.a).

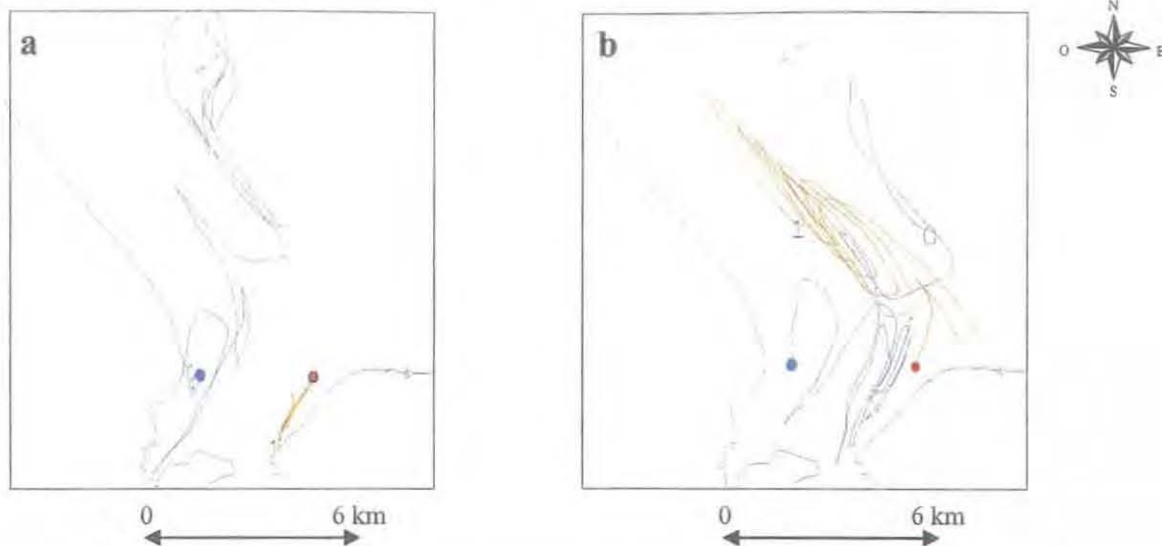


Figure 22 : Calcul de trajectoires pour des particules lâchées à basse mer avec le scénario présentant un vent de secteur sud-ouest (22.a) et pour des particules lâchées à pleine mer avec le scénario présentant un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  de secteur nord-ouest (22.b).

Les résultats montrent que la particule située à l'ouest de la baie va sortir de celle-ci et partir vers le nord, alors qu'après 14 cycles de marée celle située à l'est reste toujours sur la même trajectoire située le long de la côte est de la baie près de la zone des parcs. Ainsi, il semble qu'un vent de secteur sud-ouest favorise un confinement sur la zone des parcs. De même, les trajectoires calculées pour le scénario présentant un vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  NW indiquent que la particule située à l'ouest va suivre une trajectoire l'amenant au niveau de la zone des parcs après deux cycles de marée, puis, qu'elle va s'y maintenir pendant 3 cycles avant de sortir de la baie. Ceci indique que, contrairement à la situation précédente, ces conditions favorisent un déplacement des particules provenant de l'ouest de la baie vers la zone des parcs. Cependant, du fait de la variabilité des trajectoires observées selon le moment du lâché de la particule, il serait intéressant afin de confirmer ces résultats de réaliser plusieurs trajectoires à différents moments d'un même cycle de marée et de déterminer la trajectoire moyenne suivie par la particule.

Cependant, ces résultats confirment que c'est bien la combinaison des différents facteurs (débit, vitesse et direction du vent) qui déterminera quelle influence les apports des bassins versant auront sur la zone des parcs.

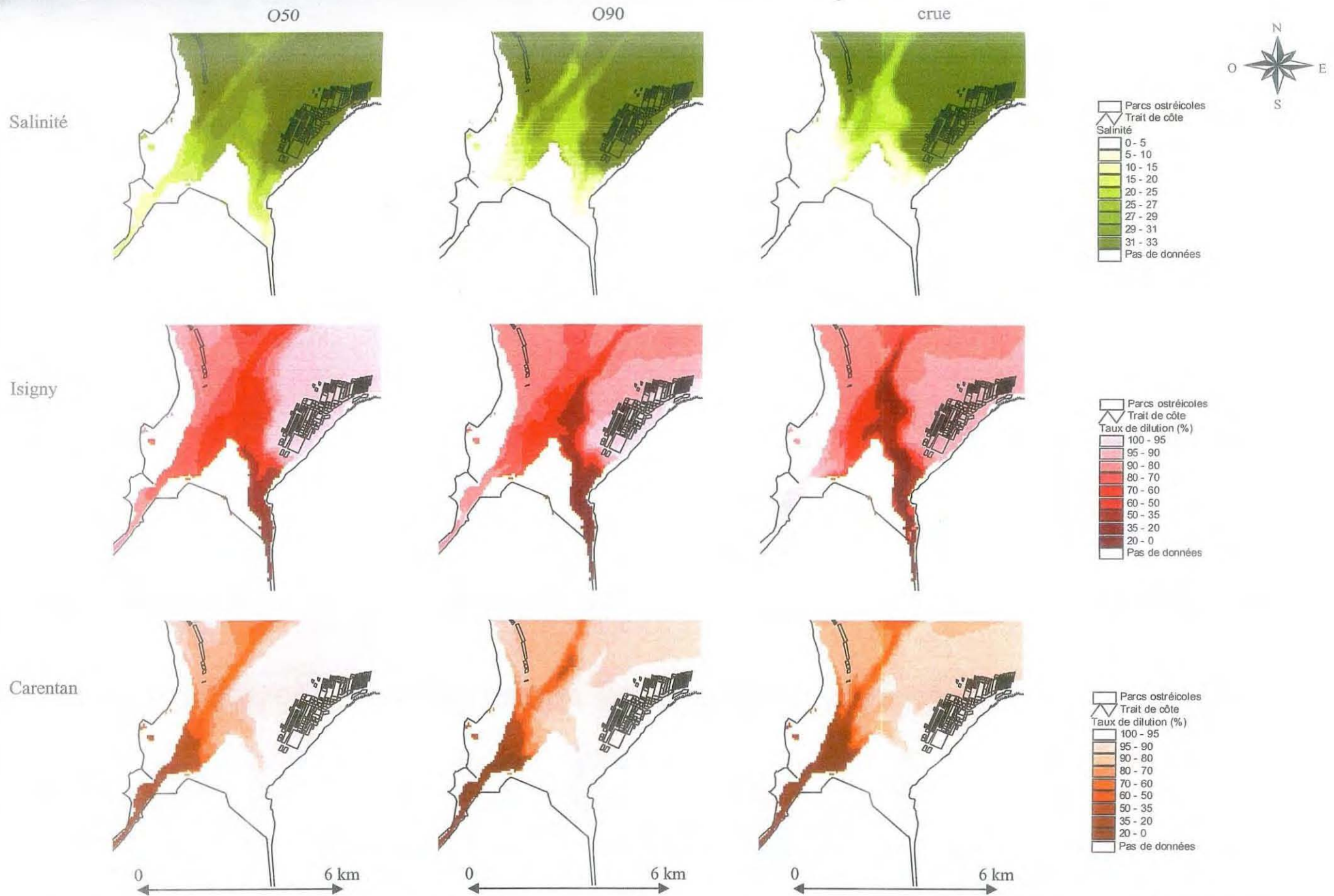


Planche 3 : Variations de la salinité (première ligne) et des taux de dilution des deux traceurs rejetés respectivement dans les chenaux d'Isigny (deuxième ligne) et de Carentan (troisième ligne) pour les trois scénarii étudiant l'influence de variations du débit (Q50, Q90 et crue).

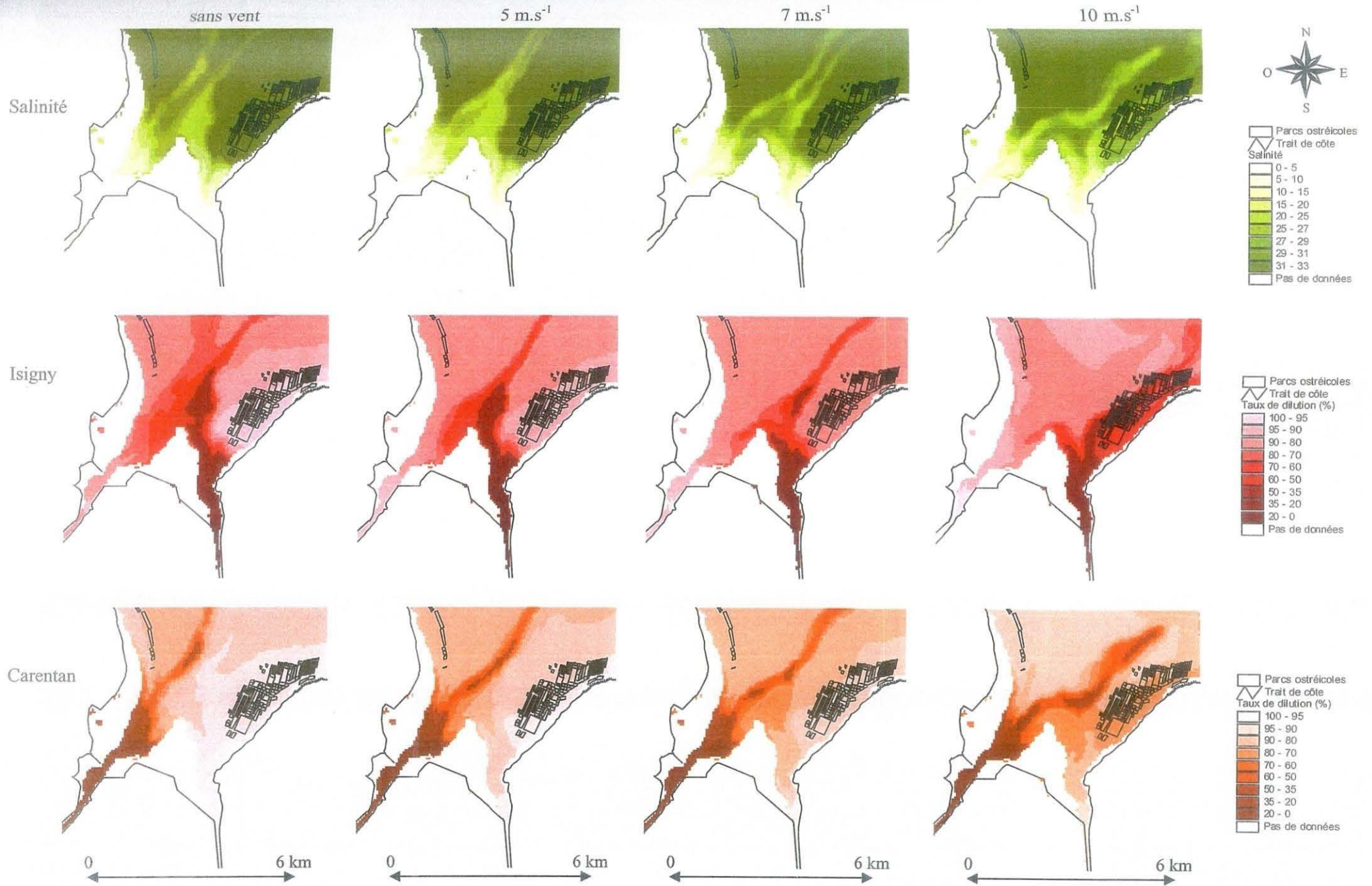


Planche 4 : Variations de la salinité (première ligne) et des taux de dilution des deux traceurs rejetés respectivement dans les chenaux d'Isigny (deuxième ligne) et de Carentan (troisième ligne) pour les différents scénarii étudiant l'influence de la vitesse du vent (sans vent, 5 m.s<sup>-1</sup>, 7 m.s<sup>-1</sup> et 10 m.s<sup>-1</sup>).

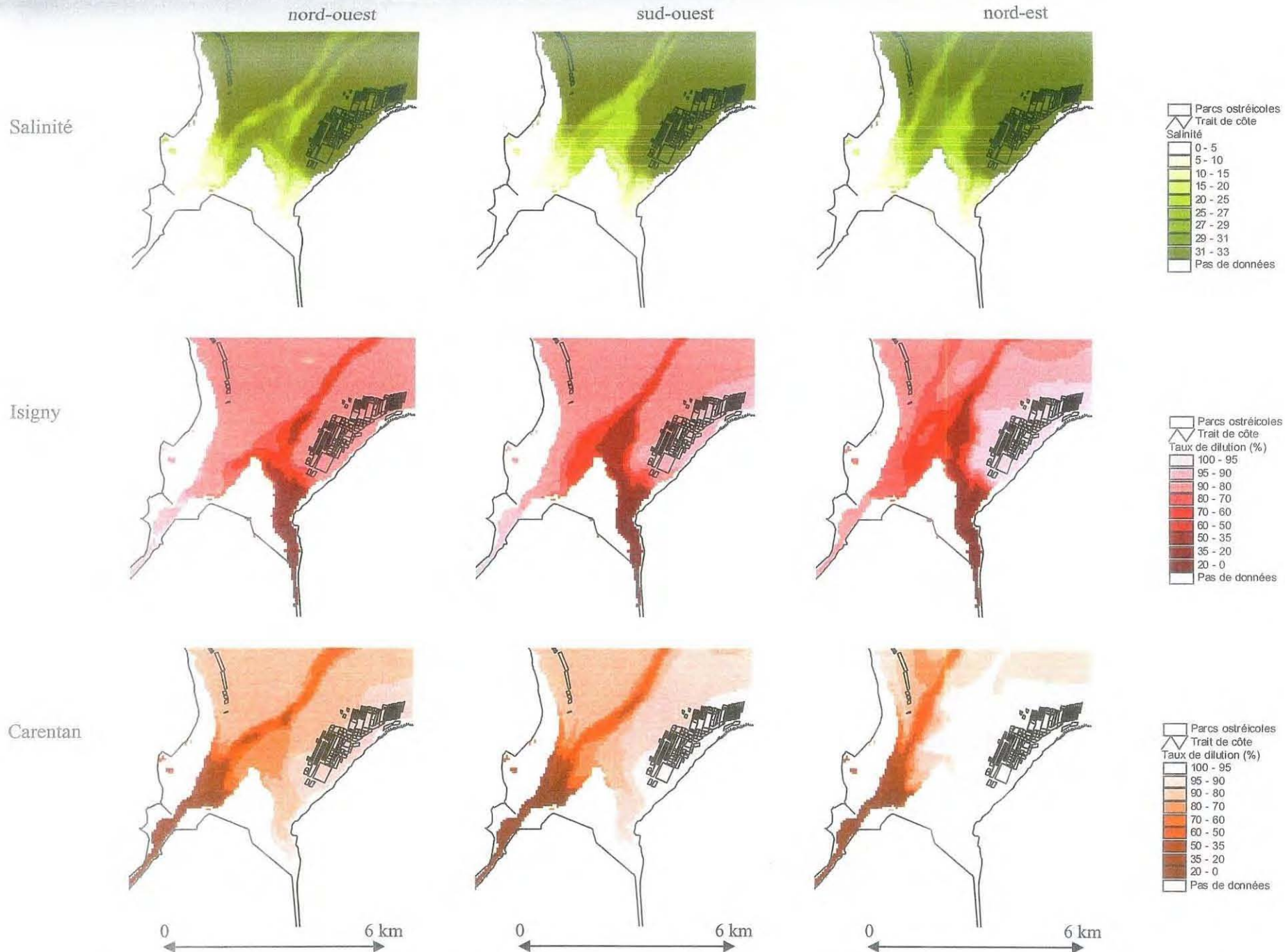


Planche 5 : Variations de la salinité (première ligne) et des taux de dilution des deux traceurs rejetés respectivement dans les chenaux d'Isigny (deuxième ligne) et de Carentan (troisième ligne) pour les trois scénarii étudiant l'influence de la direction du vent (nord-ouest, sud-ouest et nord-est).

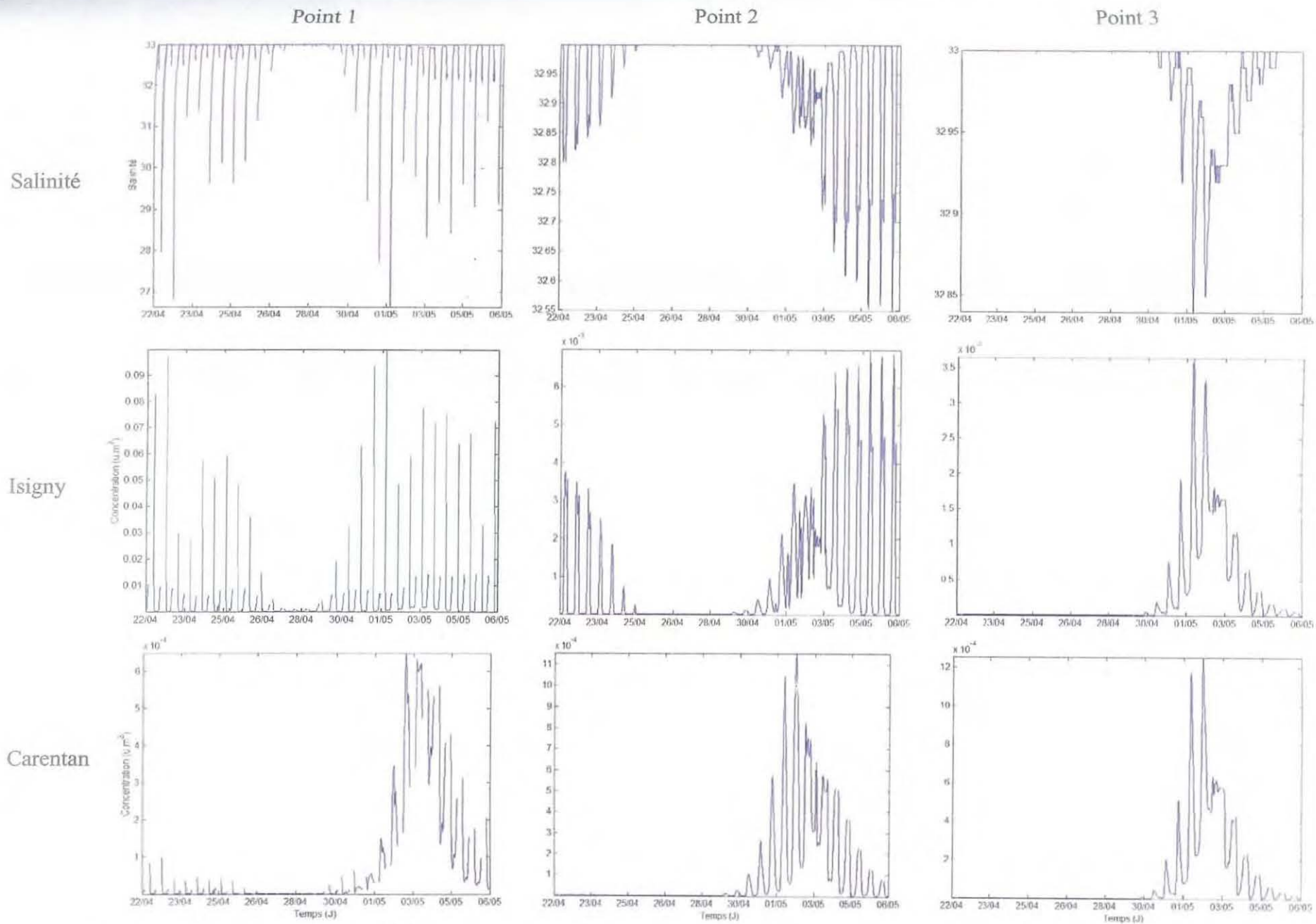


Planche 6 : Variation de la salinité et des concentrations des traceurs provenant d'Isigny et de Carentan sur les trois points de suivis placés sur la zone des parcs au cours d'un cycle vives-eaux / mortes-eaux (du 22 avril au 6 mai 2004). (scénario : débit égal à Q90, sans vent)

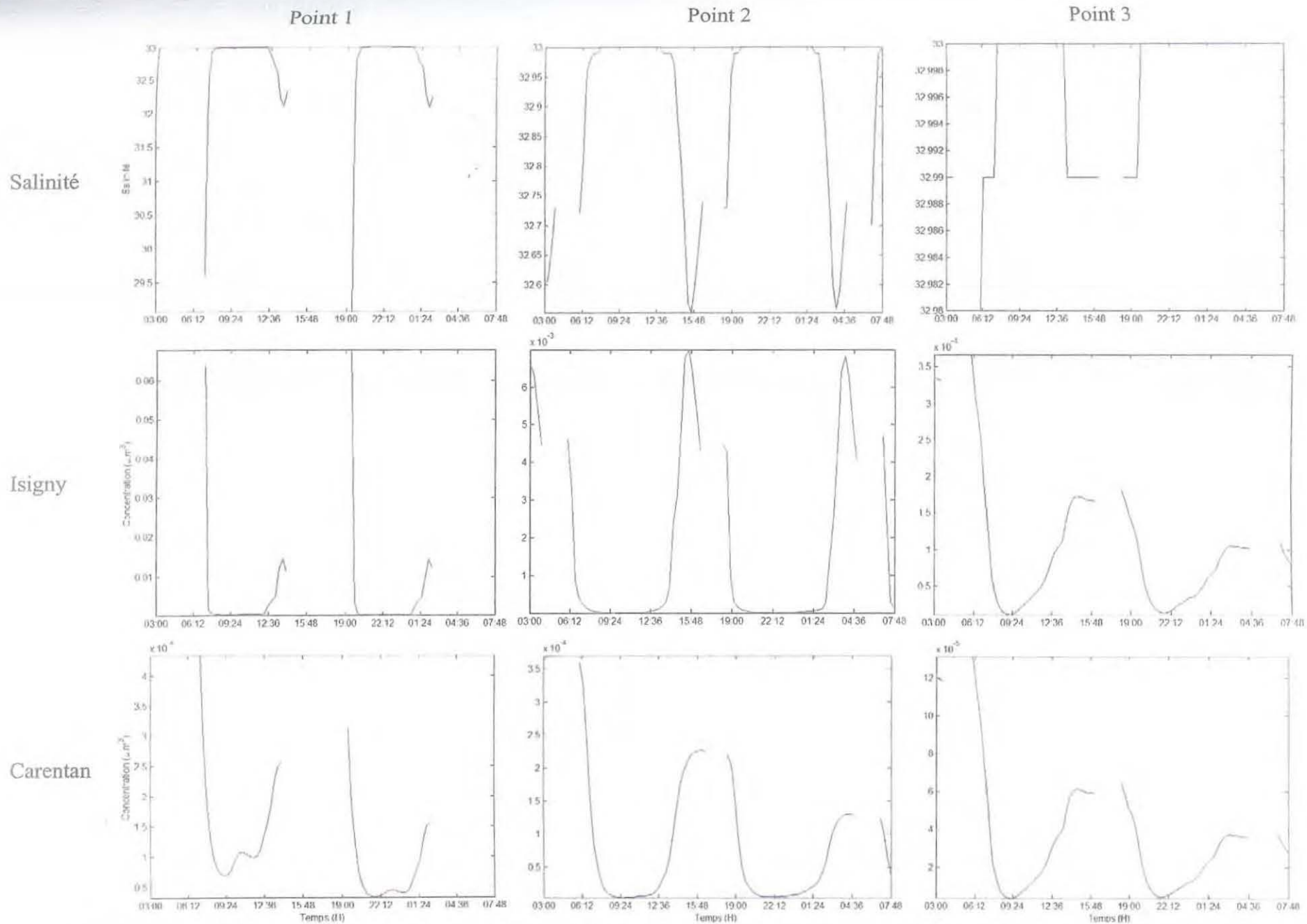


Planche 7 : Variation de la salinité et des concentrations des traceurs provenant d'Isigny et de Carentan sur les trois points de suivis placés sur la zone des parcs au cours de deux cycles de marée en période de vives-eaux (5 mai 2004, coefficient 104). (scénario : débit égal à  $Q_{90}$ , sans vent)

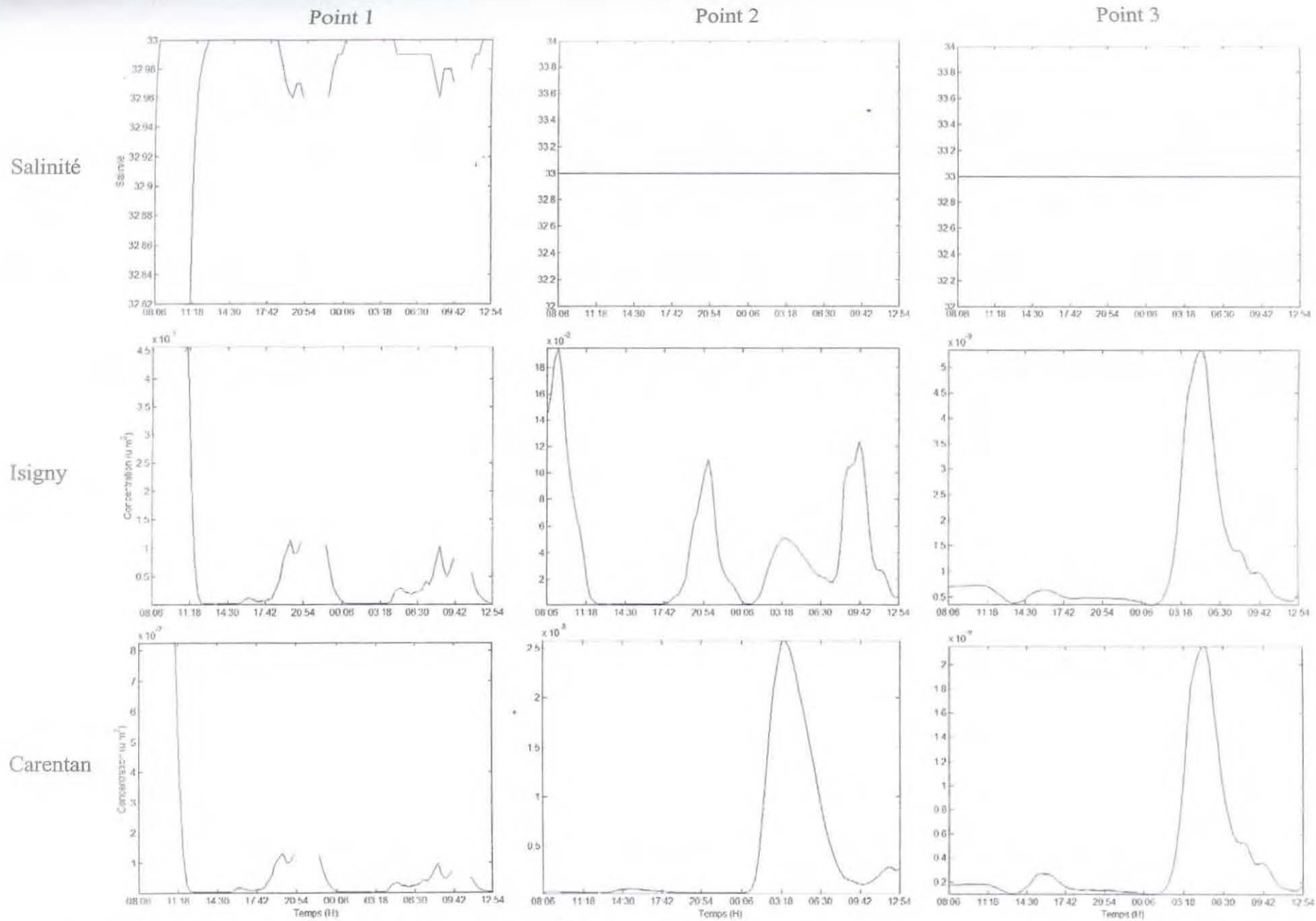


Planche 8 : Variation de la salinité et des concentrations des traceurs provenant d'Isigny et de Carentan sur les trois points de suivis placés sur la zone des parcs au cours de deux cycles de marée en période de mortes-eaux (27 avril 2004, coefficient 37). (scénario : débit égal à  $Q_{90}$ , sans vent)

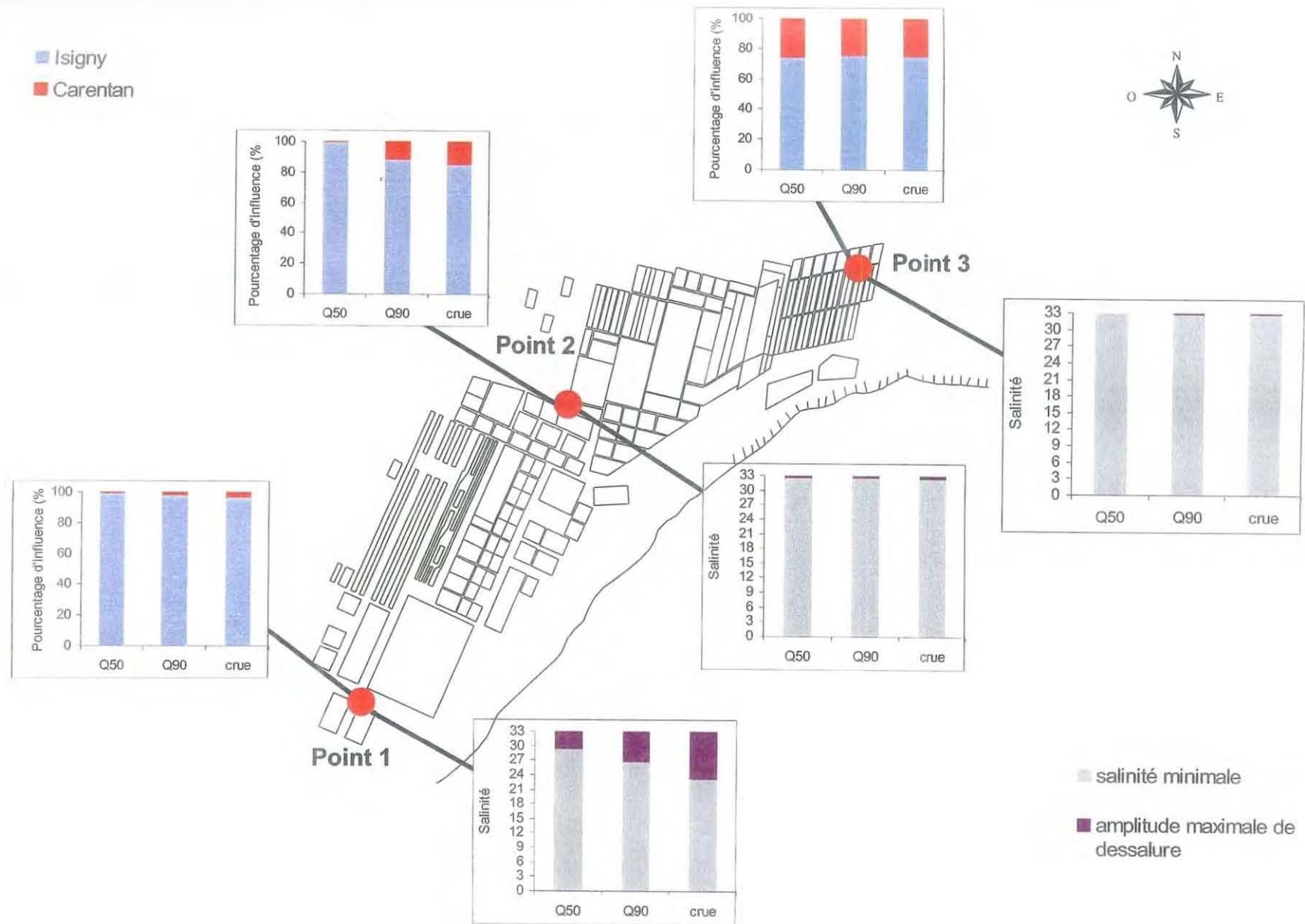


Planche 9 : Variations des pourcentages d'influence des apports provenant des deux chenaux et des amplitudes maximales de dessalures observées sur la zone des parcs, pour les scénarii présentant différentes conditions de débit (Q50, Q90 et crue).



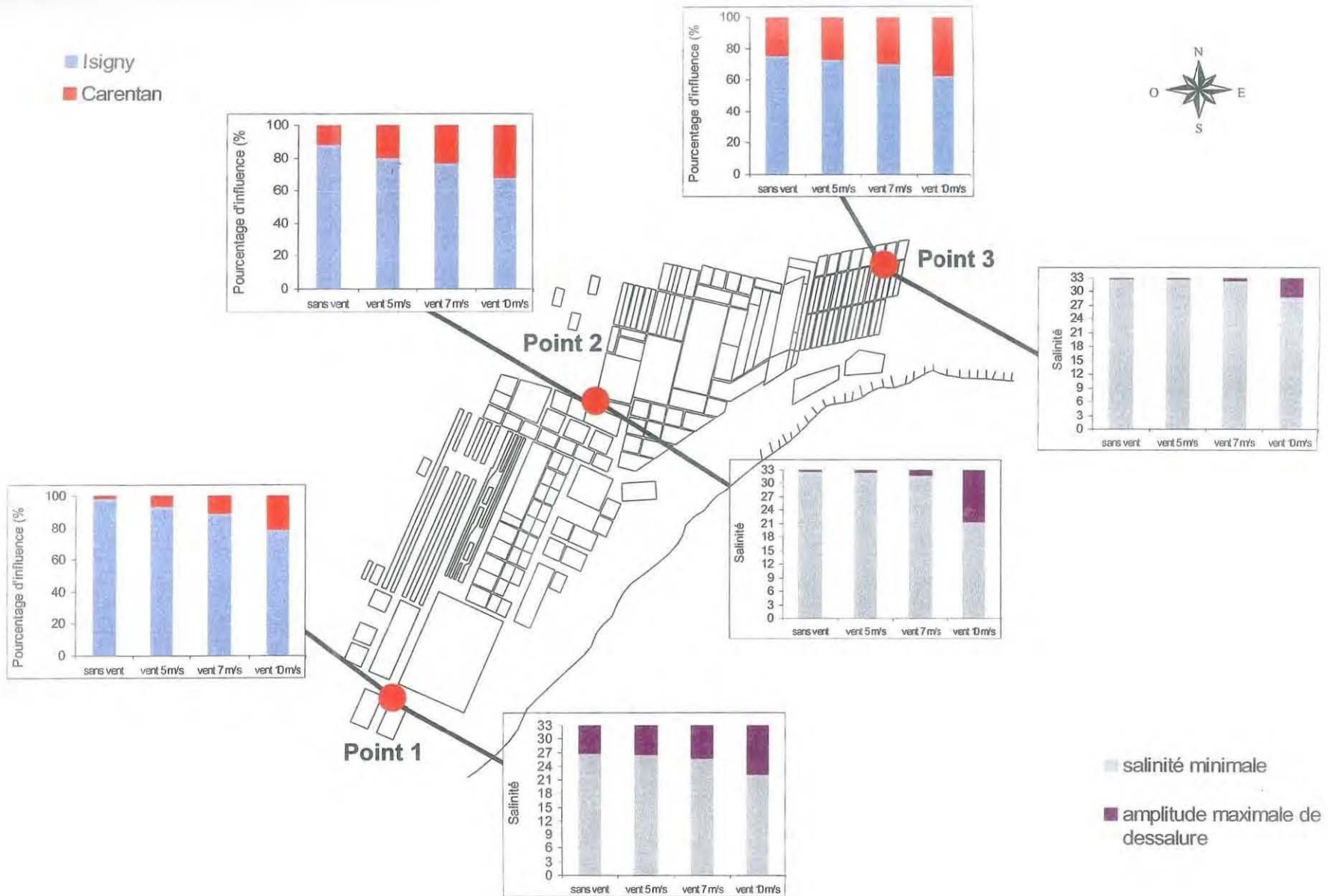


Planche 10 : Variations des pourcentages d'influence des apports provenant des deux chenaux et des amplitudes maximales de dessalures observées sur la zone des parcs, pour les scénarii présentant différentes vitesses de vent (sans vent,  $5 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $7 \text{ m.s}^{-1}$  et  $10 \text{ m.s}^{-1}$ ).

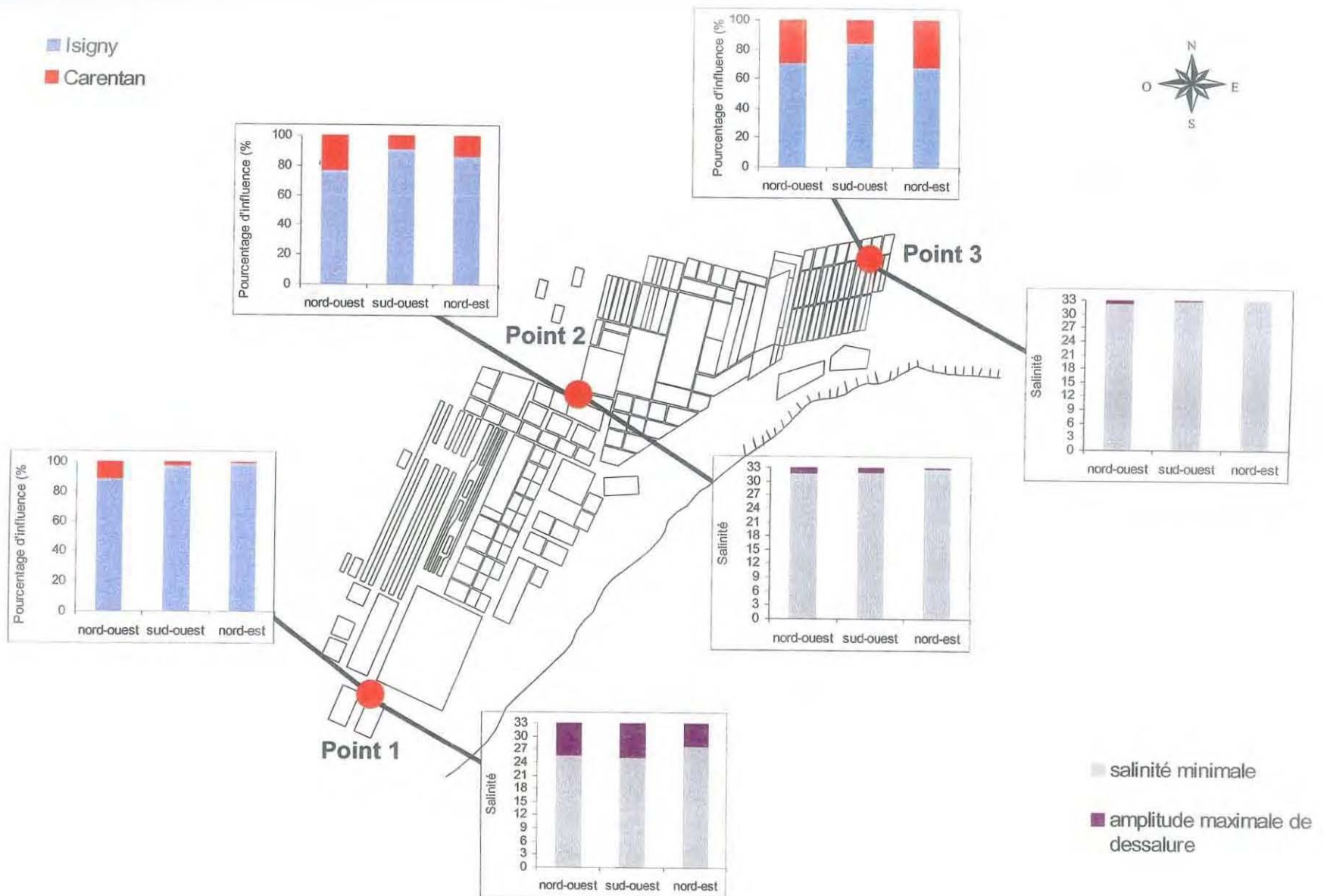


Planche 11 : Variations des pourcentages d'influence des apports provenant des deux chenaux et des amplitudes maximales de dessalures observées sur la zone des parcs, pour les scénarii présentant différentes directions de vent (nord-ouest, sud-ouest et nord-est).

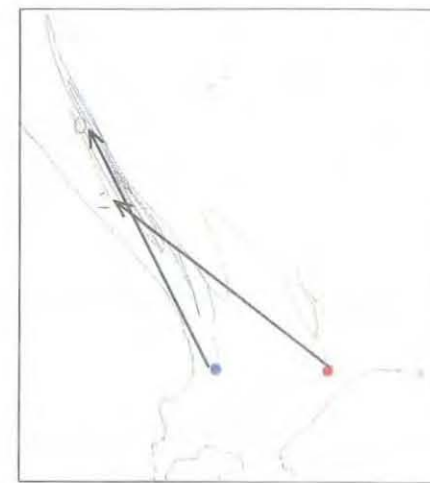
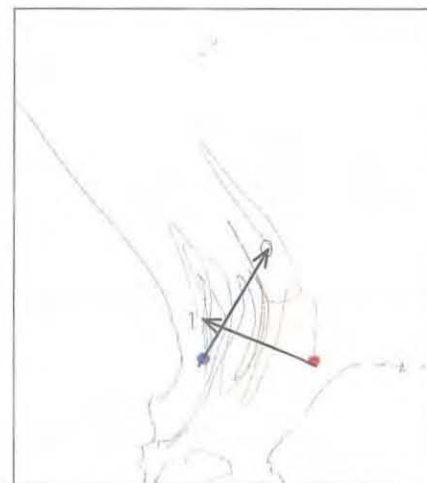
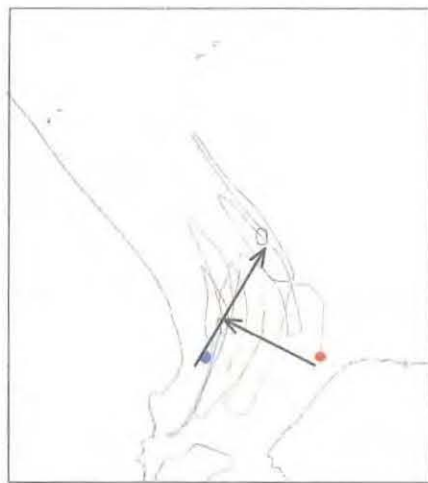
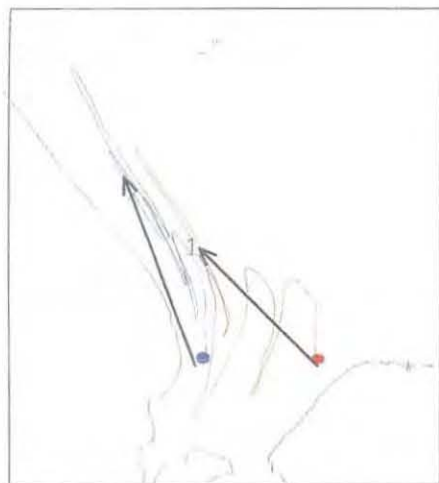
sans vent

nord-ouest

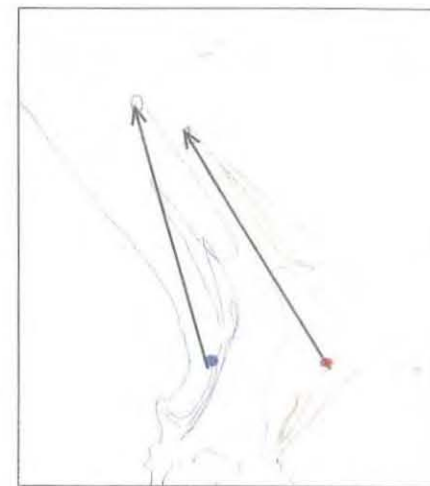
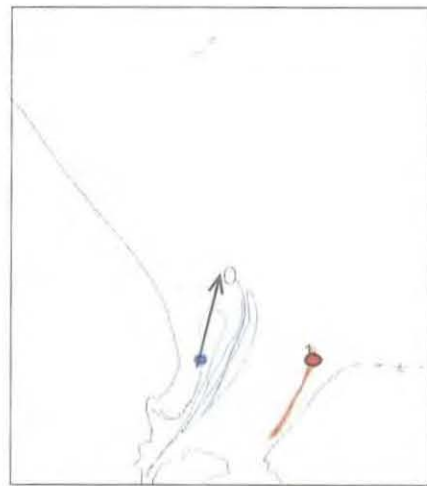
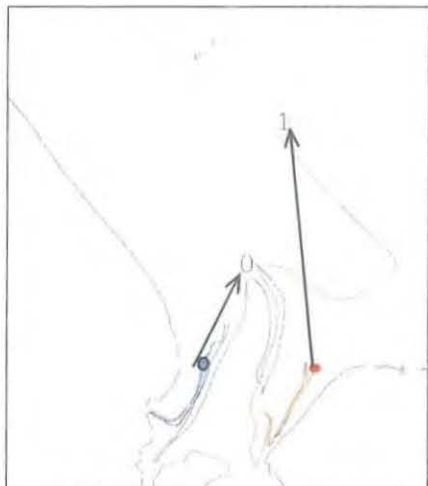
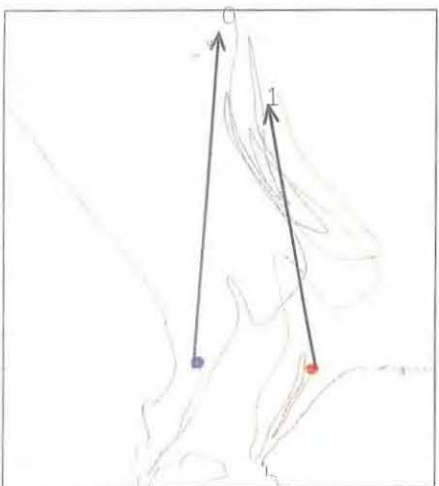
sud-ouest

nord-est

Pleine mer



Basse mer



0 6 km

0 6 km

0 6 km

0 6 km

Planche 12 : Calcul de trajectoires réalisé pour les scénarii présentant différentes directions de vent et pour des particules lâchées à pleine mer (première ligne) et à basse mer (deuxième ligne). La trajectoire en rouge correspond à la particule lâchée à l'est de la baie et celle en bleu à la particule lâchée à l'ouest. Les flèches noires représentent les résiduelles.



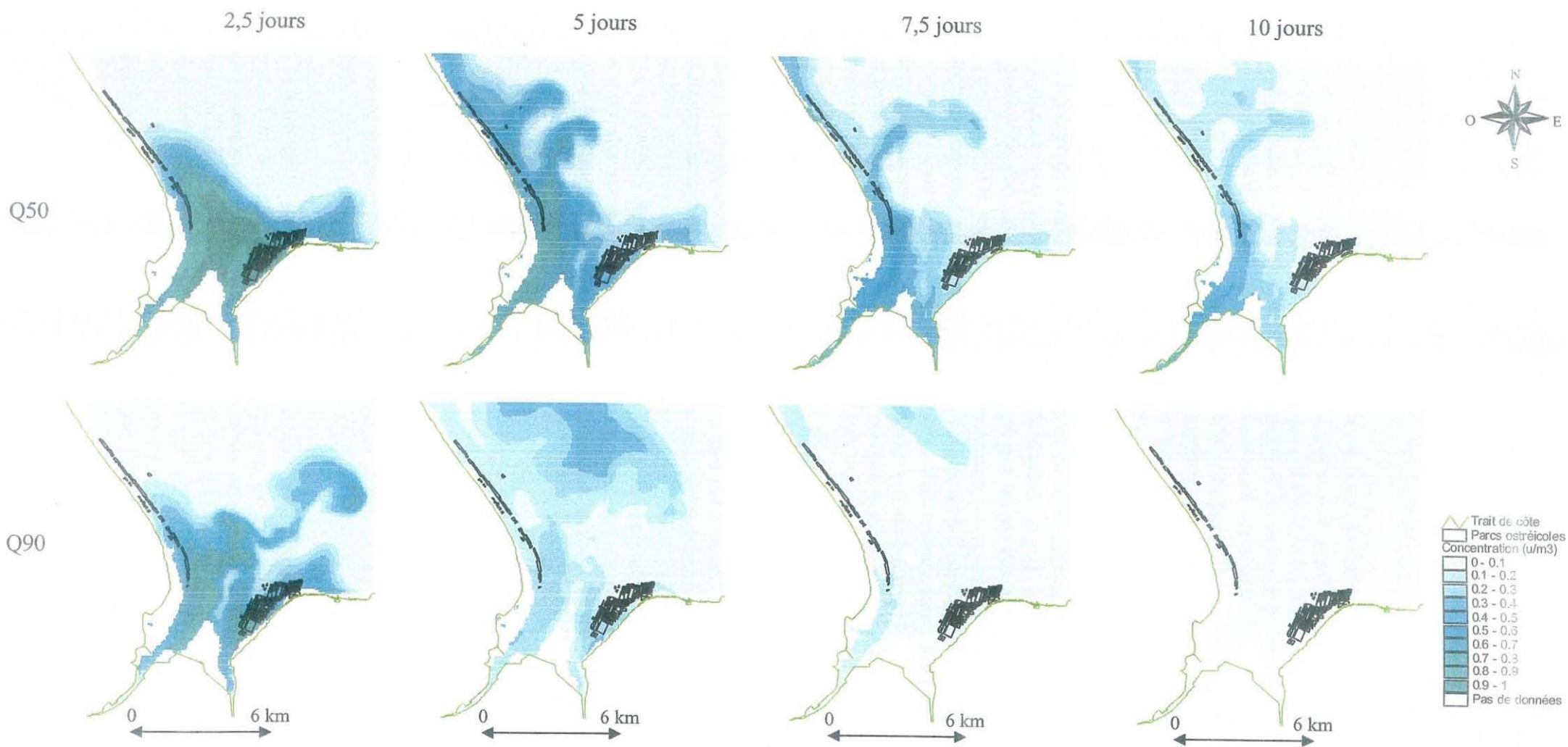


Planche 13 : Evolution des concentrations du traceur introduit dans la baie à  $t=0$ , après 2,5, 5, 7,5 et 10 jours de simulation pour les scénarii : Q50 (première ligne) et Q90 (deuxième ligne).

## V. Conclusion et Perspectives

Les différentes simulations réalisées au cours de cette étude constituent une première approche de l'étude de l'influence des apports des bassins versants sur les concessions ostréicoles de la baie des Veys. Les premiers résultats ont permis de mettre en évidence une très forte influence de la vitesse et de la direction du vent sur la répartition des masses d'eau dans la baie. Notamment, les vents de secteur nord-ouest et sud-ouest vont avoir tendance à déplacer les panaches des rivières vers la zone des parcs alors que les vents de secteur nord-est vont plutôt les éloigner de celle-ci. Cependant, ces résultats ont surtout montré que la caractérisation de l'influence des apports par les rivières ne se limitait pas à la seule détermination de valeur seuil pour ces différents paramètres car c'est la conjonction de ceux-ci qui déterminera si les parcs seront ou non sous l'influence de ces apports.

L'étude des variations spatio-temporelles de la salinité et des traceurs sur la zone des parcs a montré que, globalement, les secteurs situés le plus à l'intérieur de la baie sont plus susceptibles de subir l'influence des apports provenant des bassins versants que ceux situés vers l'extérieur. De plus, ces résultats indiquent que quel que soit le secteur étudié, ces différents paramètres présentent de fortes variations à l'échelle du cycle de marée, les plus fortes valeurs de dessalures et de concentrations des traceurs étant observées au moment où la première eau recouvre la zone lors du flot. Ces résultats suggèrent que le coefficient de marée est un paramètre important à prendre en compte dans la caractérisation de l'influence des apports par les rivières. En effet, les résultats ont montré qu'en période de mortes-eaux, les points ne découvrant pas ne subissaient aucune dessalure et que les concentrations en traceurs observées étaient de l'ordre du bruit de fond.

Enfin, l'analyse de l'hydrodynamisme de la baie des Veys a montré que celle-ci présente un temps de résidence des masses d'eau assez court (*ca.* 6,8 jours avec un débit nul), et que l'augmentation du débit des rivières va favoriser le renouvellement des masses d'eau dans la baie. En absence de vent, la zone des parcs est celle se renouvelant le plus rapidement. De plus, les calculs de trajectoires de particules font apparaître que pour des particules lâchées à basse mer, des vents de secteur sud-ouest ont tendance à maintenir celle-ci dans la partie est de la baie traduisant ainsi, un relatif confinement sur la zone des parcs.

Les résultats obtenus au cours de ce travail ont permis d'identifier certains paramètres et certaines conditions susceptibles d'induire une influence notable des apports des bassins versants sur la zone des parcs. Sur la base de ces premiers résultats, il serait intéressant de réaliser d'autres simulations, en continuant de croiser ces différents paramètres afin de caractériser de façon plus précise les conditions susceptibles d'induire la plus forte influence des apports des bassins versants. De plus, il serait aussi intéressant de placer plus de points de suivi sur les parcs afin de voir si les tendances mises en évidence au cours de ce travail se vérifient.

La poursuite de ce travail s'oriente vers la réalisation dans le cadre d'une thèse de doctorat, d'un modèle combinant la dynamique de l'écosystème (physique et biologie) et l'écophysiologie de l'huître. La réalisation dans un premier temps d'un modèle associant la physique et la biologie permettra d'étudier, sur la base des résultats obtenus au cours de ce travail et des quantifications de flux réalisé par Misko (2003), l'impact de rejets tels que les nitrates, l'ammonium ou encore les phosphates sur les zones de parcs. Puis à terme, ce modèle sera combiné à un modèle écophysiologique de l'huître afin de caractériser les interactions existantes entre l'huître et son environnement.

## VI. Bibliographie

Anonyme, 2000. La baie des Veys, Etude hydrosédimentaire et amélioration des conditions de salubrité. Rapport final IFREMER/DEL/PB, 59 p. + annexes.

ARAKAWA A. et LAMB V.R., 1977. Computational design of the basic dynamical process of the UCLA General Circulation Model. *Methods in Computational Physics*, 17 : 173-265.

CHAPELLE A., 1991. Modélisation d'un écosystème marin côtier soumis à l'eutrophisation : la baie de Vilaine (sud-Bretagne). Etude du phytoplancton et du bilan en oxygène. Thèse de doctorat, Université Paris VI, 201 p.

CUGIER P., 1999. Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en Baie de Seine. Thèse de doctorat, Université de Caen, 250 p.

CUGIER P., LE HIR P., 2002. Development of a 3D hydrodynamical model for coastal ecosystem modelling. Application to the plume of the Seine River. *Estuar. Coast. Shelf Sc.* 55 : 673-695.

DIREN Basse-Normandie, Agence de l'eau Seine-normandie, La baie des Veys et ses bassins versants, Atlas.

GODEFROY D. et ETOURNEAU C., 1994. Bilan de douze années de suivi sanitaire de la conchyliculture en baie des Veys. Rapport interne IFREMER/DEL/PB, 55 p. + annexes.

GODEFROY D., ETOURNEAU C., SCHNEPF G., 1997. Quantification des apports par les eaux douces en baie des Veys : Azote, Phosphore, Matières En Suspension, Colimétrie. Rapport interne IFREMER/DEL/PB, 98 p. + annexes.

KOPP J., JOLY J.P., MORICEAU J., LE GAGNEUR E., JACQUELINE F., 1991. La conchyliculture en Baie des Veys : historique, situation actuelle et perspectives. Rapport interne IFREMER/DRV/RA, 89 p.

LECUYER, 1986. Hydrologie et salubrité en baie des Veys. Service Régional de l'Aménagement des Eaux, 23 p.

LE GALL J. et LARSONNEUR C., 1972. Séquences et environnement sédimentaire dans la baie des Veys (Manche). *Rev. Géogr. Phys. et Géol.* 14 : 189-204.

LEENDERSTE J.J. et GRITTON E.C., 1971. A water quality simulation model for well mixed estuaries and coastal seas. II, Computational procedures. The Rand Corporation, 53 p.

MISKO P., 2003. Etude des apports terrigènes en baie des Veys. Rapport de DESS, IFREMER/DEL/SR, 53 p. + annexes.

MONSEN N.E., CLOERN J.E., LUCAS L.V., 2002. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. *Limnol. Oceanogr.*, 5 : 1545-1553.

ORBI A. et SALOMON J.C., 1988. Dynamique de marée dans le golfe normand-breton. *Oceanol. Acta.*, 11 : 55-64.

PLUS M. et DURAND N., (sous presse). Le modèle hydrodynamique du bassin d'Arcachon : Description générale et validation. Rapport interne IFREMER/DEL, 20 p.

ROPERT M., HUGONNET V., LE GAGNEUR E., SIMONNE C., KOPP J., 2003. Contributions du laboratoire conchylicole de Normandie (LCN) au défi MOREST en 2002. Rapport interne IFREMER/DRV/RA, 65 p.

ROPERT M., 1999. Caractérisation et déterminisme du développement d'une population de l'annélide tubicole *Lanice conchylega* (Pallas, 1766) (Polychete Terebellide) associé à la conchyliculture en Baie des Veys (Baie de Seine Occidentale). Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, 172 p + annexes.

ROPERT M. et KOPP J., 2000. Etude des mortalités ostréicoles de l'hiver 1998/1999 en baie des Veys. Rapport interne IFREMER/DRV/RA, 52 p.

SALOMON J.C., BRETON M., 1991. Courants résiduels de marée dans la Manche. *Oceanol. acta*, vol.sp. 11 : 47-53.

SOGREAH 2003. La Baie des Veys. Etude Hydrosédimentaire et amélioration des conditions de salubrité. Synthèse des études. Rapport final, 21 p. + annexes.

SYLVAND B., 1995. La baie des Veys (Littoral occidentale de la baie de Seine, Manche) 1972-1993. Structure et évolution à long terme d'un écosystème benthique intertidal de substrat meuble sous influence estuarienne. Thèse de doctorat d'état, Université de Caen, 397 p.