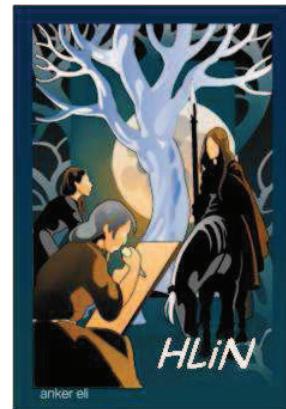


HLiN

Huîtres du Littoral Normand



Ponte, Dispersion, Recrutement et Colonisation des huîtres sauvages sur l'Ouest Cotentin : un réseau de suivi pour le littoral normand

étude de cas 2013



Pien S.¹, Maheux F.², Dedieu K.³, Le Gendre R.², Simon B²., Gauquelin T.¹

1. SMEL Synergie MER et Littoral (Blainville Sur Mer)
2. IFREMER Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)
3. Agence des aires marines protégées (Granville)



Janvier 2015



Responsable projet :

Sébastien Pien, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer), spien@smel.fr

Rédaction :

Sébastien Pien, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Frank Maheux, Ifremer Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Romain Le Gendre, Ifremer Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Karine Dedieu, Agence des aires marines protégées (Granville)

L'équipe du projet HLiN

Sébastien Pien, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Frank Maheux, Ifremer Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Romain Le Gendre, Ifremer Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Karine Dedieu, Agence des aires marines protégées (Granville)

Benjamin Simon, Ifremer Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Thibaut Gauquelin, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Philippe Riou : Responsable du Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (Port en Bessin)

Olivier Richard : Directeur du SMEL, Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Hervé Moalic : Responsable de la mission d'étude golfe normand-breton, Agence des aires marines protégées (Granville)



Pour citer ce document

Pien S., Maheux F., Dedieu K., Le Gendre R., Simon B., Gauquelin T., 2015. Ponte, Dispersion, Recrutement et Colonisation des huîtres sauvages sur l'Ouest Cotentin : un réseau de suivi pour le littoral normand - étude de cas 2013, Projet HLiN (Huîtres du Littoral Normand), 40p.

[http://archimer.ifremer/](http://archimer.ifremer.fr/),

<http://www.smel.fr>

Crédits photos :

SMEL, Synergie MEr et Littoral (Blainville sur Mer)

L'équipe HLiN tient à remercier :

Olivier Basuya⁽¹⁾, Jean-Louis Blin⁽¹⁾, Elodie Fleury⁽²⁾, Stéphanie Pétinay⁽¹⁾ et Stéphane Pouvreau⁽³⁾ pour leurs implications, leurs aides et précieux conseils.

Ainsi que :

Pour l'Ifremer, les financeurs du projet AGIL Basse-Normandie : Agence de l'Eau Seine-Normandie, Conseil Régional de Basse-Normandie, Conseil Général de la Manche, Conseil Général du Calvados.

Pour le SMEL : Conseil Général de la Manche, chambres consulaires et communes adhérentes du syndicat mixte

Et l'Agence des aires marines protégées.

1. SMEL – Synergie MEr et Littoral – Blainville / Mer
2. LER / MPL – IFREMER – La Trinité sur Mer
3. Station d'Argenton – IFREMER – Argenton en Landunvez



Résumé

Depuis 2010, le programme HLIN s'attache à suivre la colonisation et le recrutement des huîtres naturelles sur les côtes du département de la Manche. Après une période d'adaptation des protocoles à la réalité normande, il s'est posé la question de l'origine du recrutement des huîtres, notamment pour la côte ouest du Cotentin, entre les falaises de Champeaux et Saint Germain / Ay.

Suite à ses travaux sur la dérive larvaire des moules de pêche en baie de Seine, le LERN de Port en Bessin avait mis au point un modèle de courantologie en 3 dimensions appelé NORM (issu du code MARS 3D). L'idée était d'appliquer la méthodologie de calage du modèle pour le golfe normand breton afin de simuler différents scénarios de ponte et de les corréler avec les observations de terrain.

L'année 2013 a servi, dans le cadre de cette étude, d'année référence et de calage de la méthodologie. Les géniteurs ont été suivis par le biais du réseau RESCO d'IFREMER permettant ainsi d'obtenir des données de maturation et des dates de pontes sur les deux principales zones d'élevage du golfe. Ensuite, des bouées iridium, suivies en direct, furent nécessaires afin de caler les données du modèle avec la réalité. Avec des dates de pontes et un modèle recalé, des simulations ont été lancées à partir de 9 secteurs identifiés comme secteurs source potentiels et sur les deux dates de pontes relevées (fin juillet pour Cancale et fin août pour Blainville / Mer) lors du suivi des indices gonadiques.

Les simulations, prenant Cancale comme point d'émission, montrent une dispersion relativement concentrée au nord de la pointe du Grouin et en fond de baie du Mont Saint Michel, jusqu'aux falaises de Carolles. De plus, les températures d'eau entre la fin juillet et la mi-août (période natatoire des larves) étaient supérieures à 20°C, donc favorables au bon développement des larves jusqu'à leur fixation. La simulation à partir de Blainville / Mer émise fin août quant à elle montre des concentrations relativement intéressantes sur la partie nord de la côte ouest du Cotentin (entre Saint Germain / Ay et Carteret) mais les conditions météorologiques et thermiques n'étaient pas réunies pour une ponte réussie.

Les données de terrain, relevées en Mars 2014, montrent un recrutement 2013 exclusivement sur les falaises de Carolles, ce que semblaient montrer les différentes simulations du modèle NORM combiné aux données météorologiques et thermiques.

Mots clés

Colonisation huîtres sauvages, *Crassostrea Gigas*, ponte, dispersion larvaire, fixation, connectivité, réseau de suivi

<i>Introduction.....</i>	1
I. <i>Matériel et Méthodes</i>	4
a) Le RESCO - Réseau d'Observations Conchyliques.....	4
b) Le protocole de suivi HLIN.....	6
• Le suivi de la colonisation.....	6
• Le suivi du recrutement.....	6
c) Les bouées dérivantes : validation in-situ de la circulation côtière.....	8
• Lâchers de flotteurs dérivants iridium	8
• Information et communication	8
• Le matériel et son fonctionnement	9
d) Le modèle NORM et l'étude de la connectivité	10
• Le modèle NORM	10
• Stratégie de modélisation utilisée	10
II. <i>Résultats sur la ponte, la dispersion, le recrutement et la colonisation 2013</i>	13
a) Contexte "climato-océanique" 2013.....	13
• Température de l'eau.....	13
• Source de nourriture - Chlorophylle a.....	16
b) Détermination des dates de ponte	20
c) Résultats des bouées dérivantes : lâcher de Septembre	22
d) Dispersion larvaire modélisée	28
• calibration bouées/modèles	28
• résultats sur la dispersion larvaire modélisée.....	28
e) Résultats du suivi in-situ du recrutement (campagne Février 2014)	36
f) Résultats sur le suivi de la colonisation.....	38
Discussion.....	40
• Ponte : de nombreux paramètres de contrôle.....	40
• Evaluer la dispersion pour mieux comprendre la dynamique de population.....	40
• Des zones potentielles de recrutement identifiées	41
• Une colonisation variable dans le temps	41
• Des améliorations proposées pour le protocole de suivi.....	42
Bibliographie	46
Liste des figures, tableaux et photos	47
Annexes	48
Annexe 1 : autorisation de largage des bouées iridium	48
Annexe 2 : Fiches de simulation de dérives larvaires à partir du modèle NORM.....	51
Les fiches suivantes présentes les simulations de ponte effectuées sur chacun des 9 sites choisis sur les 2 dates de ponte, soit 18 simulations.	51



Introduction

Crassostrea gigas, appelée "huître creuse du Pacifique" ou "huître japonaise" est une espèce qui a été introduite volontairement à travers le monde pour relancer l'économie dans le domaine de l'ostréiculture. Elle a été introduite en France dans les années 70 pour remplacer les cultures de *Crassostrea angulata* (l'huître creuse portugaise) et *Ostrea edulis* (l'huître plate), qui ont été touchées par deux infections virales (M. Comps et JL. Duthoit-1979). Pour pallier cette perte, environ 10 000 tonnes d'huîtres creuses du Pacifique, plus résistantes, ont été importées du Japon. Du fait de sa croissance rapide et de sa grande faculté d'adaptation à différents milieux, l'huître creuse du Pacifique est aujourd'hui l'huître la plus cultivée au monde. La France produit entre 120 000 et 130 000 tonnes de *Crassostrea gigas* chaque année (Planetoscope - La planète vivante, source FAO 2007), dont 40 000 tonnes en Normandie, première région productrice d'huîtres en France.

Après leur introduction, le recrutement annuel régulier sur lequel était la production française d'huîtres creuses (Grizel et Héral-1991) a d'abord été observé à Marennes-Oléron et Arcachon. Puis dans les années 90, il s'est étendu en Bretagne et a commencé à se propager sur les côtes normandes (Lejart, 2009). A cette époque, la prolifération était surtout visible dans des sites relativement proches des élevages (fonds de baies, rias, estuaires...) en période estivale favorable.

La culture de ces huîtres a donné lieu à du transport de larves induisant la colonisation de populations d'huîtres creuses sauvages sur les rochers du littoral proches des zones ostréicoles, grâce à des conditions environnementales favorables. Depuis quelques temps, cette prolifération prend de l'ampleur, et on assiste à une invasion de ces huîtres pouvant induire des perturbations sur les écosystèmes (Lejart, 2009 et Hily, 2008). C'est notamment le cas récemment dans des sites comme le golfe du Morbihan ou la rade de Brest (Le télégramme de Brest – 2008). Cette colonisation atteint aujourd'hui les côtes de la Manche (Ouest Cotentin).

Divers facteurs seraient à l'origine de cette prolifération à commencer par le changement climatique qui, du fait du réchauffement des eaux de surface (+1°C en moyenne entre 1990 et 2003) (Hily-2008), favoriserait la reproduction des huîtres avec des périodes de reproduction plus longues et améliorerait la survie larvaire avec des conditions favorables plus longues durant l'été (température d'eau supérieure à 20°C). En outre, ce réchauffement pourrait favoriser une augmentation de la production phytoplanctonique, principal élément de l'alimentation des huîtres. Un autre facteur de sa prolifération résiderait dans la capacité d'adaptation phénotypique et/ou génétique de cette espèce originaire du Japon (Lejart, 2009). En effet, grâce à son matériel génétique, *Crassostrea gigas* aurait la capacité de s'adapter à une grande variété de facteurs environnementaux (adaptation phénotypique) qui, couplés avec la sélection naturelle, la rendrait de plus en plus résistante (adaptation génotypique) et lui permettrait de constituer des populations prédominantes (écotype) (M. Lejart, 2009 et Hily, 2008).

La prolifération de *Crassostrea gigas* aurait peu d'effets sur les autres espèces tant que la structure du peuplement est plane c'est-à-dire ne formant pas de récifs (Lejart, 2009). En effet, à travers les observations de terrain (description des caractéristiques des sites étudiés avec la faune et la flore associées), il apparaît que les récifs d'huîtres sur les rochers hébergent plus d'espèces que les rochers nus. Les structures non-planes induisent donc des effets positifs sur les communautés avec l'apparition d'une importante richesse spécifique même si d'autres espèces, comme par exemple le bigorneau (*Littorina littorea*) vivant normalement sur les rochers, tendraient à disparaître peu à peu du fait de la concurrence

trophique de *Crassostrea gigas*. A plus large échelle, les huîtres peuvent recouvrir entièrement le substrat sous-jacent (cf. Figure 1) induisant cette fois une homogénéisation des habitats et un envasement par leurs rejets fécaux (Hily, 2008). Tout cela peut altérer les écosystèmes côtiers et engendrer des modifications du paysage très mal perçues par la population.

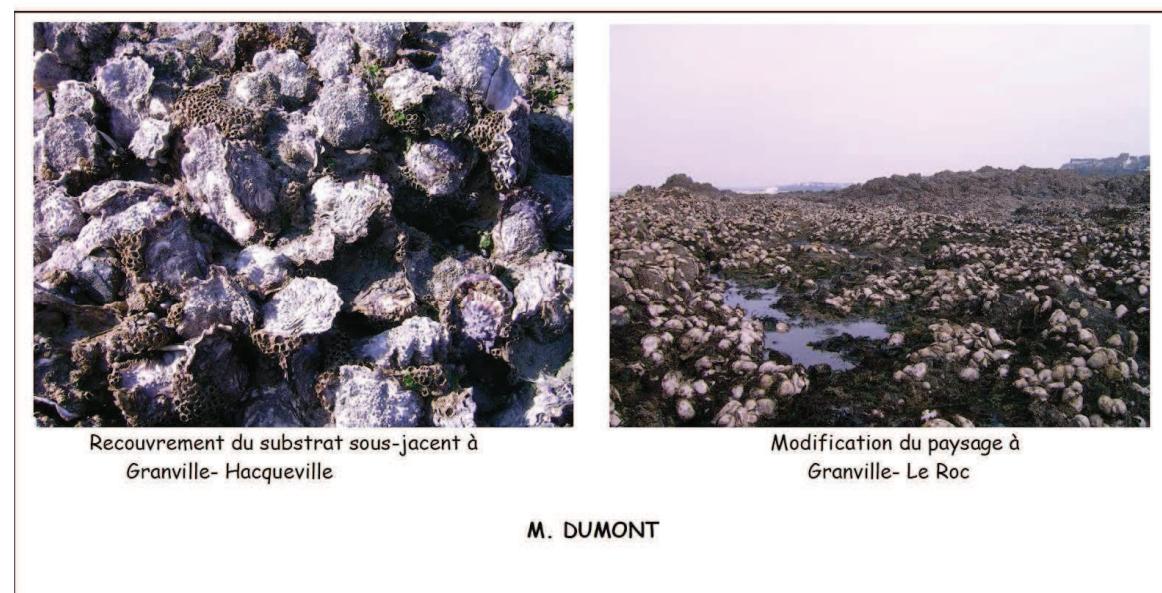


Figure 1 : Colonisation de l'estran sur Granville (Manche) (cf. figure 3, p. 10)

Du côté des professionnels ostréiculteurs, cette nouvelle ressource sauvage profiterait à une pêche de loisir (Hily, 2008) et pourrait engendrer un ralentissement des ventes pour les professionnels. De plus, en se fixant sur les poches d'élevage dans les parcs, induisant des opérations de nettoyage régulières, elle induirait pour la profession un surcoût significatif.

Cependant, les naissains sauvages pourraient aussi constituer une ressource valorisable pour les ostréiculteurs en étant captés et utilisés pour leurs productions (Hily, 2008).

D'un point de vue touristique, aucune étude à ce jour n'a permis de mesurer quantitativement les conséquences socio-économiques sur le tourisme d'une prolifération d'huîtres sauvages. On peut supposer qu'elle rend d'un côté les zones de promenade et de baignade moins facilement praticables, avec un risque de coupures et des dégradations du matériel nautique mais que de l'autre côté, elle permet une récolte de loisir d'huîtres sur les littoraux rocheux à marée basse. Il est à noter que l'éradication des huîtres sauvages serait coûteuse et inutile tant que la culture est maintenue car la dispersion des larves continuerait à partir des élevages.

Peu d'études font état d'une colonisation par l'huître *Crassostrea gigas* des côtes normandes, espèce pourtant élevée en Basse-Normandie depuis plusieurs décennies. Parmi elles, le projet PROGIG (2005-2008) qui, bien que dédié à l'étude de la colonisation par l'huître japonaise des côtes bretonnes, avait recueilli quelques données sur la zone de Granville mettant en évidence une présence d'huîtres sauvages (plage d'Hacqueville) (Lejart, 2009; C. Hily, 2008). Auparavant des études menées par l'Agence Régionale de Santé (ARS) entre les années 2000 et 2002 ont montré la présence d'huîtres sur le littoral de la Manche à cette période (Frédéric, 2002). Des huîtres sauvages avaient été répertoriées à Donville Les Bains (Pointe du Lude) et à Pirou (face à la piscine d'eau de mer). A Donville Les Bains, de nombreuses mesures ont pu être effectuées comme la densité, le poids, les



classes de taille et leur évolution. Il ressort de cette étude une diminution de la densité mais un accroissement de la taille moyenne. La longévité des huîtres était estimée à 4 / 5 années (au vu des cohortes sur ces deux années). Il est noté qu'un recrutement est effectif tous les ans sur cette zone. Une étude similaire dans le Calvados ne montre pas la présence d'huîtres sur ses côtes.

Le programme de suivi des populations naturelles d'huîtres sur les côtes du cotentin, nommé « programme **HLIN** » (Huîtres du Littoral Normand) a vu le jour en 2010 suite à une interrogation sur l'état de la colonisation des côtes de la Manche par l'huître *Crassostrea gigas*. En 2010, une étude bibliographique, une première cartographie des côtes et les bases d'un protocole de suivi ont pu être effectuées afin de suivre l'évolution de cette population et d'en cerner les retombées futures, qu'elles soient négatives (compétiteurs des huîtres en élevage, homogénéisation des habitats marins à large échelle) ou positives (exploitation du captage naturel, pêche à pied de loisir) (Pien & Dumont, 2011).

Le programme HLIN s'est poursuivi entre 2011 et 2013 afin d'initier un suivi sur l'état et l'évolution de la colonisation et du recrutement des huîtres tout en définissant rigoureusement le protocole de suivi et le proposer afin de **pérenniser** ce réseau.

A terme, ce réseau pourrait alimenter des études d'évaluation des interactions entre les huîtres en élevage et les huîtres sauvages.

Mis en relation avec les réseaux existants sur les huîtres en élevage (RESCO et REMONOR), le réseau HLIN aura pour mission de :

- **définir les zones impactées**
- **suivre l'évolution interannuelle de la colonisation** et les principaux paramètres favorables à l'accroissement de cette population.

Pour répondre à ces enjeux, la présente étude a pour double objectif de :

(i) valider un protocole de suivi du recrutement et de la colonisation des huîtres naturelles initié en 2011

(ii) définir l'origine du recrutement, c'est à dire connaître les bancs de géniteurs des huîtres présentes sur les côtes de la Manche susceptibles d'alimenter les secteurs colonisés. Pour ce faire, la méthode utilisée pour mieux appréhender les points sources de larves et leur distribution spatiale au cours du temps est la modélisation hydrodynamique. La dispersion larvaire modélisée permet d'avoir des informations sur la connectivité entre les secteurs et également **d'identifier les zones potentielles de développement des huîtres sauvages le long des côtes du Cotentin**. Cette partie a vocation à améliorer le protocole de suivi du recrutement et de colonisation en ajoutant des sites potentiels de recrutement fortement probables sur la côte.

Pour cela une collaboration entre le SMEL et l'IFREMER, cofinancée par l'Agence des Aires Marines Protégées, a permis de mettre en place une première étude sur la circulation côtière et la dispersion larvaire dans le golfe normand-breton. A l'instar d'un travail similaire réalisé en baie de Seine pour le transport de larves de moules (projet DILEMES), un modèle hydrodynamique validé par des lâchers de bouées spécialement conçues pour ce genre d'études a permis de débuter la réflexion.



I. Matériel et Méthodes

a) Le RESCO - Réseau d'Observations Conchylicoles



Le réseau RESCO est né en 2009, fait suite à la surmortalité des juvéniles d'huîtres qui touche l'ensemble des côtes françaises. En prenant le relais du réseau REMORA, initié en 1993 par l'IFREMER, l'objectif de RESCO est « d'observer et de caractériser sur un plan national l'évolution spatio-temporelle des performances conchylicoles de lots d'huîtres sentinelles »¹.

« Le RESCO permet :

- l'acquisition annuelle, via des suivis à fréquence élevée, de données de croissance, de survie et de reproduction pour des lots d'huîtres standardisés de différents âges, origines et dans différents environnements les plus représentatifs possibles de la production nationale
- la bancarisation des données concernant à la fois les performances biologiques de l'huître creuse ainsi que les paramètres environnementaux associés (température, salinité, phytoplancton), permettant d'alimenter les volets de recherche
- le traitement de données et la diffusion d'informations en temps quasi-réel afin de mettre en évidence le plus rapidement possible d'éventuelles anomalies hydro-climatiques et biologiques (en comparaison avec les données statistiques historiques)
- la connexion avec les données issues de réseaux régionaux ou d'expérimentations locales, telles que la participation à la mise au point de modèles de production conchylicole. »¹

Le RESCO est aujourd'hui constitué de 13 stations réparties sur l'ensemble des bassins conchylioles français, de la Normandie à l'étang de Thau (cf. Figure 2).



Figure 2: Localisation des stations de suivi RESCO



Sur l'ensemble de ces stations, des huîtres de deux classes d'âge sont installées au mois de mars, du naissain (issu du captage naturel et des huîtres triploïdes) et du captage naturel de 18 mois. Toutes les deux semaines, puis tous les mois à partir d'octobre, les individus sont comptés et les mortes sont enlevées. Une pesée des vivantes est effectuée. Sur le lot de 18 mois, un prélèvement de 30 individus est ramené au laboratoire pour y effectuer une pesée individuelle, une prise de longueur, puis des pesées de chair et de coquilles ainsi qu'une lecture de la maturation. Sur chacune des stations, une ou deux sondes sont installées et relèvent la température de l'eau, la salinité de l'eau et la pression sur la sonde. Ces données sont enregistrées toutes les 15 minutes.

Le RESCO est « en étroite connexion avec :

- le réseau Velyger développé depuis 2008 à la demande du Comité National de la Conchyliculture (CNC), qui concerne l'étude du recrutement de l'huître creuse et l'identification des causes de sa variabilité. Ce réseau s'appuie, pour le suivi de la croissance et de la reproduction, sur les lots sentinelles déployés sur les sites-ateliers de l'Observatoire Conchylicole tant sur les bassins capteurs traditionnels (Marennes-Oléron et Arcachon), que sur les bassins dans lesquels la reproduction de l'huître creuse est en extension (baie de Bourgneuf, rade de Brest) ou en émergence (étang de Thau).
- le réseau Repamo qui traite de la surveillance de la santé des mollusques sur la base de trois protocoles d'épidémio-surveillance. Il concerne particulièrement l'étude des mortalités anormales survenant chez les mollusques marins. »¹

L'étude HLN, et plus particulièrement l'étude de cas réaliste sur la dispersion 2013, concerne exclusivement le golfe normand-breton. Par conséquent, les stations concernées sont :

- Cancale : station suivie par IFREMER Dinard (LER-FBN).
- Blainville / Mer : station suivie par le SMEL.

Le paramètre le plus suivi dans le cadre de cette étude est l'indice de chair (ou AFNOR) qui permet de déterminer une date de ponte sur les deux sites suivis. Cet indice représente le taux de remplissage de l'huître. La norme AFNOR (1985), modifiée en 2000 par un accord interprofessionnel, classe les huîtres marchandes en deux catégories :

- Les *fines* qui ont un indice de chair compris entre 6,5 et 10,5 (entre 7,0 et 10,5 pour les *fines de claires*)
- Les *spéciales* qui ont un indice supérieur à 10,5.

Il se détermine en faisant le rapport entre la masse individuelle de chair fraîche (*Mchair*) et la masse totale de l'huître pesée avant ouverture (*MTot*) :

$$ICh = 100 * (Mchair) / (MTot)$$

Une chute brutale de l'indice de chair au cours de l'été est généralement la conséquence d'une ponte.

¹ Extrait du site RESCO (http://wwz.ifremer.fr/observatoire_conchylicole)



b) Le protocole de suivi HLN

Le protocole de suivi est divisé en deux parties fortement liées :

- Le suivi de la colonisation.

Le but est de suivre régulièrement l'état de la colonisation et son évolution sur différents points de la côte du département de la Manche. Le protocole de suivi, issu du programme PROGIG (Hily, C., 2009) fut mis au point au SMEL en 2010 (Dumont, M., 2010). De novembre à mars, plusieurs sites sont visités selon différents critères :

- des sites visités annuellement : des stations considérées comme pilotes font l'objet d'une étude annuelle afin de déterminer l'éventuelle vitesse d'évolution d'un site. Il s'agit des sites de **Champeaux**, **Granville** et **Saint Germain sur Ay**.
- des sites visités tous les trois ans : les points ayant déjà fait l'objet d'un repérage et qui présentent une présence significative d'huîtres (densité : $d > 1 \text{ ind.m}^{-2}$) sont suivis tous les trois ans, ainsi que le site de Barfleur qui malgré une densité inférieure à 1, est le site le plus colonisé du nord Cotentin.
- des sites de repérage : dans certains points non encore répertoriés, le but est d'y faire de la prospection afin de couvrir l'ensemble des côtes du département. Il s'agit des sites du nord Cotentin (de Carteret à Geffosse)

Pour des zones à forte densité (supérieure à 1 individu / m^2), l'estran est quadrillé par des transects allant du haut de plage vers le large, fait de cadrats d'1m² tous les 25 mètres. Dans chacun de ces cadrats, le nombre d'individus, ainsi que la faune et la flore sont répertoriés. Pour les zones à densité plus faible, des cadrats de même type sont effectués de manière aléatoire sur l'estran.

La carte de la figure 3 résume l'ensemble de ces observations réalisées entre le printemps 2010 et l'hiver 2013. L'ensemble des résultats sont présentés en détail dans le rapport HLN 2013 (Pien et al., 2013).

- Le suivi du recrutement.

Sur des sites fortement colonisés (et suivis annuellement dans le cadre du suivi de la colonisation, soit Champeaux, Granville et Saint Germain / Ay), l'arrivée de recrues est observée sur plusieurs quadrats (de 1m² chacun). Sur ces points de suivis, l'ensemble des huîtres est enlevé avant le recrutement possible en année 0. En année 1, un comptage et des mesures sont effectués au mois de février pour le recrutement de l'été précédent puis sont suivis en Septembre / Octobre avec de nouvelles mesures et un relevé de la mortalité estivale. Ces résultats permettent d'évaluer *a priori* l'influence du recrutement sur l'évolution de la colonisation.

Le protocole mis en place durant les années 2010 à 2012 n'avait pas permis de mettre en évidence un recrutement massif sur les côtes de la Manche (Pien et al., 2013).

En complément de ces suivis pérennes, des études complémentaires s'ajoutent afin de compléter la connaissance sur cette colonisation et permettre de mieux comprendre le phénomène et son évolution future. La présente étude en est un exemple.

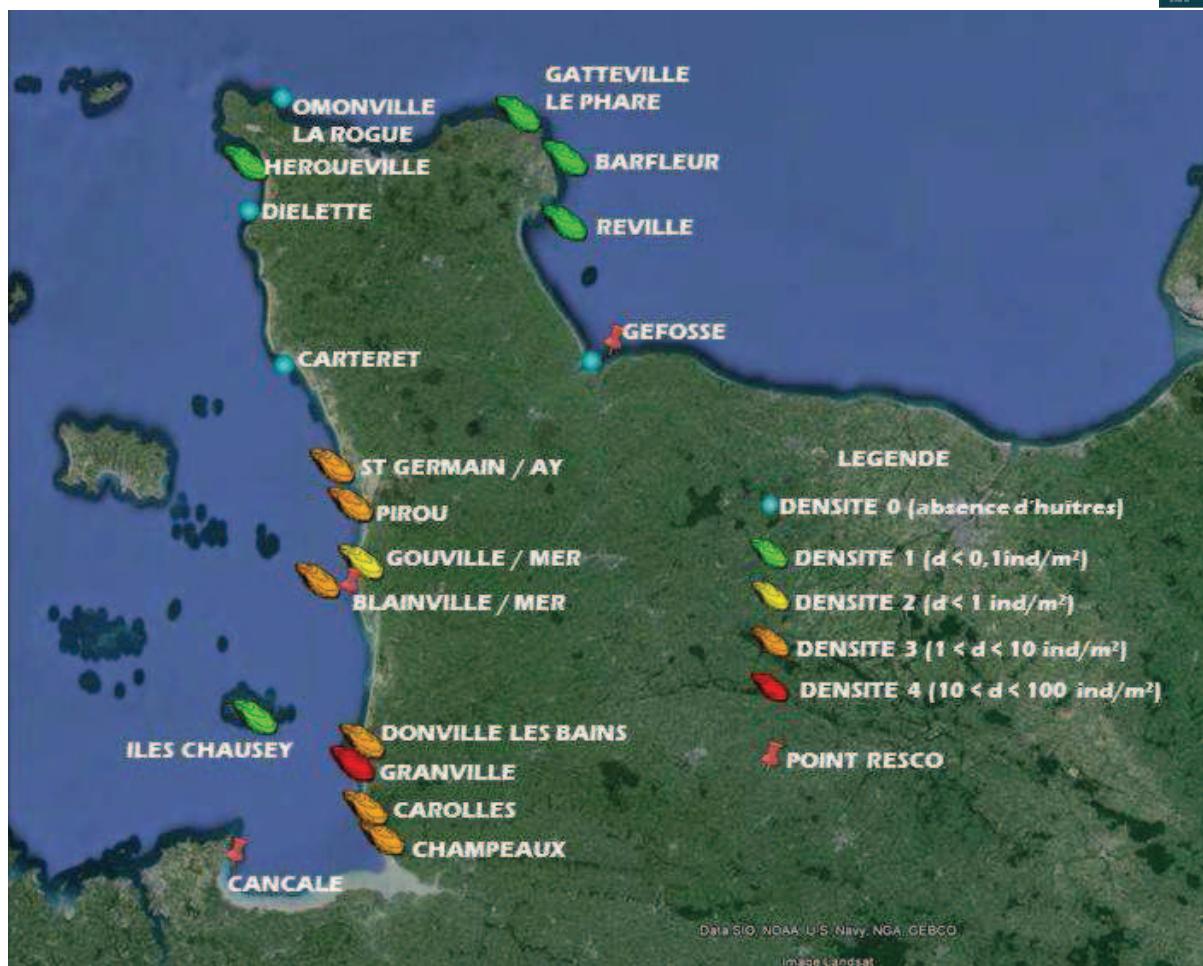


Figure 3: Synthèse du suivi de la colonisation des sites de peuplement d'huîtres férales en 2013 et les points RESCO de la zone.



c) Les bouées dérivantes : validation in-situ de la circulation côtière

- Lâchers de flotteurs dérivants iridium

Les modèles numériques prennent en compte les phénomènes d'advection-dispersion liés aux courants tidaux et aux courants générés par le vent. Cela permet d'effectuer des simulations de transport de substances dissoutes ou particulaires en prenant en compte les forçages marée et vent. Pour s'assurer de la pertinence des informations simulées, une étape indispensable est la calibration-validation du modèle. La problématique centrale de ce projet étant de représenter le plus fidèlement possible la dérive et le transport de larves d'huîtres, les instruments adaptés pour une validation de ce type sont des flotteurs à ancre flottante. Ces flotteurs envoient leur position GPS à une fréquence donnée (toutes les 10 minutes par exemple) en utilisant le mode de communication iridium par satellite. Les positions des bouées en temps réel sont ensuite accessibles, via un serveur internet.

Six bouées de ce type ont été acquises. Les emplacements de largage ont été déterminés au moyen de simulations préliminaires tout en prenant en compte les gisements potentiellement identifiés comme étant les principaux foyers d'émission de larves.

Deux séries de lâchers ont été effectuées, les 12/09/2013 et 24/09/2013. Pour les opérations à la mer (largage, récupération des drifters), les moyens nautiques du LERN (Laboratoire Environnement Ressources de Normandie) et du SMEL ont été utilisés. Les bouées ont été suivies en temps réel au laboratoire et des simulations prévisionnelles de dérives ont été effectuées.

Lâcher de bouées dérivantes du 12/09/2013						
Nom de la bouée	LERN-I-0001	LERN-I-0002	LERN-I-0003	LERN-I-0004	LERN-I-0005	LERN-I-0006
Coordonnées géographiques du lâcher	48°42.268' N 1°49.416' W	48°40.920' N 1°48.600' W	48°40.000' N 1°47.100' W	48°40.000' N 1°43.500' W	48°41.300' N 1°38.800' W	48°43.340' N 1°34.730' W
Nom de la commune	Le Haut Bout	Cancale	Cancale	Cherrueix	Genêts	Champeaux
Date du relevage	23/09/2013	25/09/2013	23/09/2014	19/09/2013	16/09/2013	23/09/2013
Coordonnées géographiques du relevage	48°43.143' N 1°51.422' W	48°46.815' N 1°45.249' W	48°47.930' N 1°54.274' W	48°39.851' N 1°16.826' W	48°41.508' N 1°36.396' W	48°38.918' N 1°44.006' W

Lâcher de bouées dérivantes du 24/09/2013						
Nom de la bouée	LERN-I-0001	LERN-I-0002	LERN-I-0003	LERN-I-0004	LERN-I-0005	LERN-I-0006
Coordonnées géographiques du lâcher	48°50.136' N 1°38.796' W	48°40.920' N 1°48.600' W	48°52.694' N 1°36.016' W	48°40.923' N 1°48.614' W		48°49.170' N 1°36.125' W
Nom de la commune	Granville	Cancale	Coudeville sur Mer	Cancale		Saint Pair sur Mer
Date du relevage	26/09/2013	01/10/2013	08/10/2013	01/10/2013		25/09/2013
Coordonnées géographiques du relevage	48°47.395' N 1°41.245' W	48°47.219' N 1°44.924' W	49°15.529' N 2°15.914 W	48°48.282' N 1°56.643' W		48°46.787' N 1°36.762' W

- Information et communication

La réussite des lâchers de bouées repose logiquement sur une absence d'intervention, délibérée ou non (relevage, abordage...), pendant la durée de la dérive. Il a donc été décidé de communiquer très largement auprès des différents usagers de la mer de la présence de ces bouées (CRPM, SYMEL, organisme professionnel Jersiais, etc.). Le CRPM a prévenu ses représentants locaux ainsi que tous les pêcheurs disposant d'une messagerie électronique.

Conformément à la réglementation, une demande spéciale a été faite auprès de la Préfecture Maritime de la Manche et de la mer du Nord (Division "Action de l'Etat en mer") avec constitution d'un dossier technique et scientifique. Après obtention des autorisations d'immersion (cf annexe 1), chaque opération, en début et fin, a également fait l'objet

d'informations particulières (jours, heures, positions géographiques, etc.) auprès du Centre des Opérations Maritimes (Marine Nationale) et du CROSS de Jobourg.

- Le matériel et son fonctionnement

Le matériel utilisé est composé de:

- 6 bouées équipées de drogues (ou ancre flottantes)
- une station iridium embarquée permettant d'obtenir les positions des bouées en quasi temps réel via des communications satellites

Les bouées sphériques, de diamètre 21 cm, ont une flottabilité calculée pour que seule la demi-sphère supérieure de couleur vive soit émergée, réduisant ainsi sa sensibilité au vent et à l'énergie des vagues à la surface de l'eau. Chacune d'elles est reliée par un câble textile (30 cm) à une ancre flottante qui la maintient dans la veine de courant, l'ensemble ayant un tirant d'eau de 1,75 m (figure 4.a et 4.b). Ce matériel a été conçu pour suivre les courants à 1m de la surface.

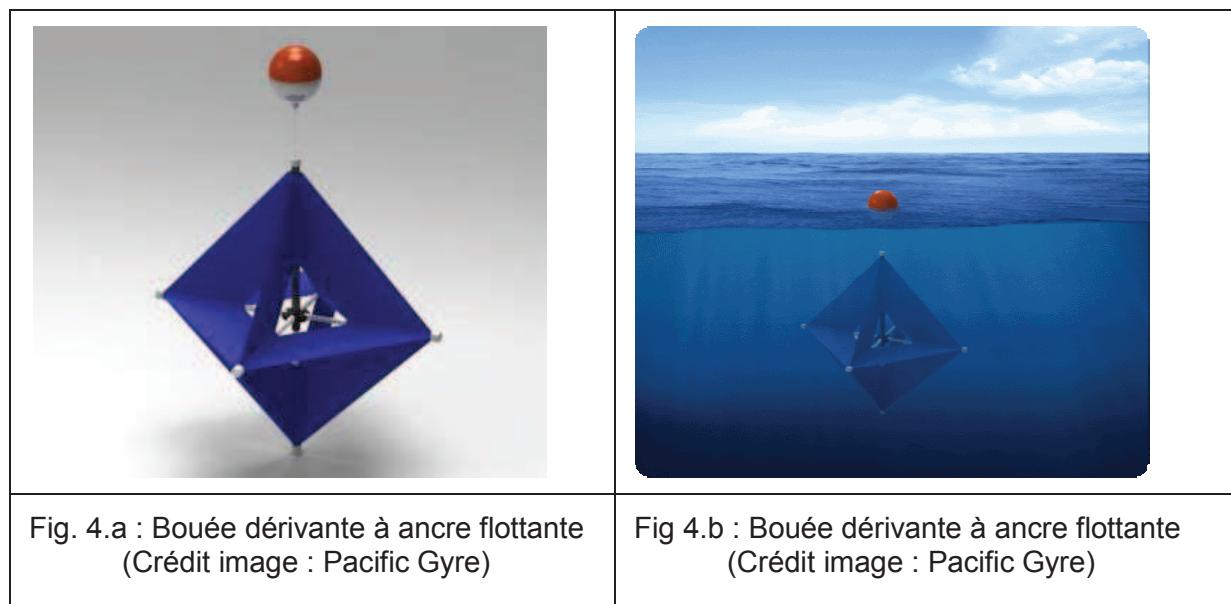


Fig. 4.a : Bouée dérivante à ancre flottante
(Crédit image : Pacific Gyre)

Fig 4.b : Bouée dérivante à ancre flottante
(Crédit image : Pacific Gyre)

Figure 4 : (a) Bouée dérivante à ancre flottante, (b) Bouée dérivante à ancre flottante

Chaque bouée est équipée d'une carte électronique gérant un récepteur GPS et l'envoi de la trame GPS par satellite, d'une batterie assurant une autonomie d'environ un mois et d'un capteur de température de l'eau. Ce matériel a été acquis auprès de la société "Pacific Gyre" spécialisée dans ce type d'instruments.

Les communications Iridium sont facturées par la société Pacific Gyre au nombre de transmissions de positions réalisées. Le suivi en temps réel, le contrôle et les réglages de ces bouées s'effectuent via un site internet permettant :

- de gérer l'activation/désactivation de l'émission des bouées et de la station de base,
- de configurer les bouées, en particulier la fréquence de l'émission des coordonnées géographiques (10 mn pour cette étude),
- de visualiser en temps réel la position géographique, et son "âge" (dans l'espace-temps de 10 mn), l'état de la batterie, la température de l'eau (°C) et le trajet,
- d'exporter les trajets obtenus sous différents formats, en particulier au format Google Earth,
- de suivre en temps réel, via une connexion internet, la progression des bouées et de programmer leur récupération.

d) Le modèle NORM et l'étude de la connectivité

- Le modèle NORM

Dans le cadre de cette étude, le modèle NORM, mis en place dans le cadre du projet DILEMES (cf bibliographie), a été réutilisé afin d'étudier la connectivité entre différentes zones d'élevages et de recrutement sauvage du golfe normand-breton. Cette configuration utilise le code MARS3D (<http://wwz.ifremer.fr/mars3d>), un code développé et maintenu par DYNECO/Physe à l'IFREMER de Brest. Il est dédié à la modélisation océanographique côtière, des échelles régionales jusqu'aux échelles littorales (quelques centaines voire quelques dizaines de mètres). Une description et une validation de cette configuration est disponible dans le rapport relatif au projet DILEMES. L'outil a été calibré principalement à l'aide de mesures marégraphiques mais également à l'aide de vérité in-situ en utilisant des bouées dérivantes suivies par satellite. Les lâchers de bouées DILEMES ont été effectués dans la zone de la baie de Seine. Dans le cadre du projet HLN, plusieurs lâchers ont également été réalisés dans le secteur de la baie du Mont Saint-Michel et comparés aux mêmes lâchers simulés par le modèle NORM (voir paragraphe 3).

La résolution spatiale de cette configuration est de 200m et son emprise (cf Figure 5) couvre l'intégralité du littoral bas-normand. Sur la verticale, la colonne d'eau est discrétisée en 10 niveaux sigma (s'adaptant à la bathymétrie). Ce modèle hydrodynamique permet donc de simuler dans chaque maille (carrée de 200m de côté) l'évolution réaliste de variables telles que le niveau d'eau, les courants, la température ou la salinité. Les apports réalistes de tous les bassins versants côtiers sont également pris en compte dans la configuration NORM. Cet outil permet donc de simuler fidèlement la circulation des masses d'eaux côtières et ainsi le transport de substances dissoutes (appelées traceurs) que l'on introduit soit ponctuellement (ex : rejet d'émissaire à la zone marine), soit spatialement (par exemple pour simuler la dispersion larvaire après une ponte sur un secteur donné).

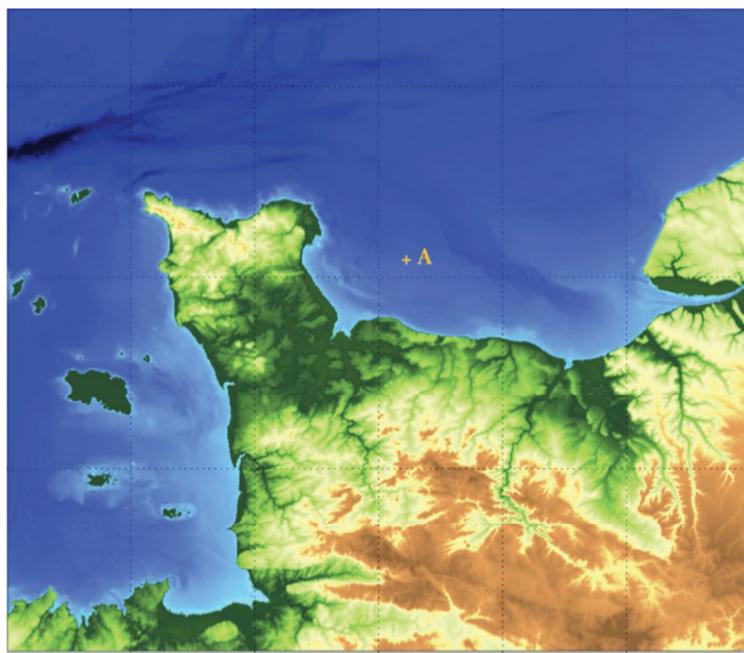


Figure 5: Emprise du modèle NORM

- Stratégie de modélisation utilisée

Une des problématiques centrales de HLIN était de mieux appréhender l'origine du recrutement sauvage de *Crassostrea Gigas* dans le golfe normand-breton. En cela, le modèle (moyennant certaines hypothèses) permet de représenter la dispersion larvaire et par conséquent la connectivité entre les secteurs d'élevage et les colonies sauvages du littoral du Cotentin. Pour ce faire, 9 secteurs d'intérêt ont été définis le long du littoral. Ces secteurs ont été déterminés soit pour leur caractère potentiel d'essaimage de larves (typiquement des zones de culture ostréicole), soit en tant que sites adéquats pour le recrutement d'huîtres sauvages (e.g zones à estran rocheux). Un travail a été réalisé en amont des simulations afin que ces zones représentent toutes un volume équivalent à marée haute. La figure 6 ci-dessous présente les 9 secteurs sur lesquels les pontes de l'été 2013 ont été simulées. La bathymétrie a été légèrement lissée. Les zones d'estran sont représentées couleur sable.

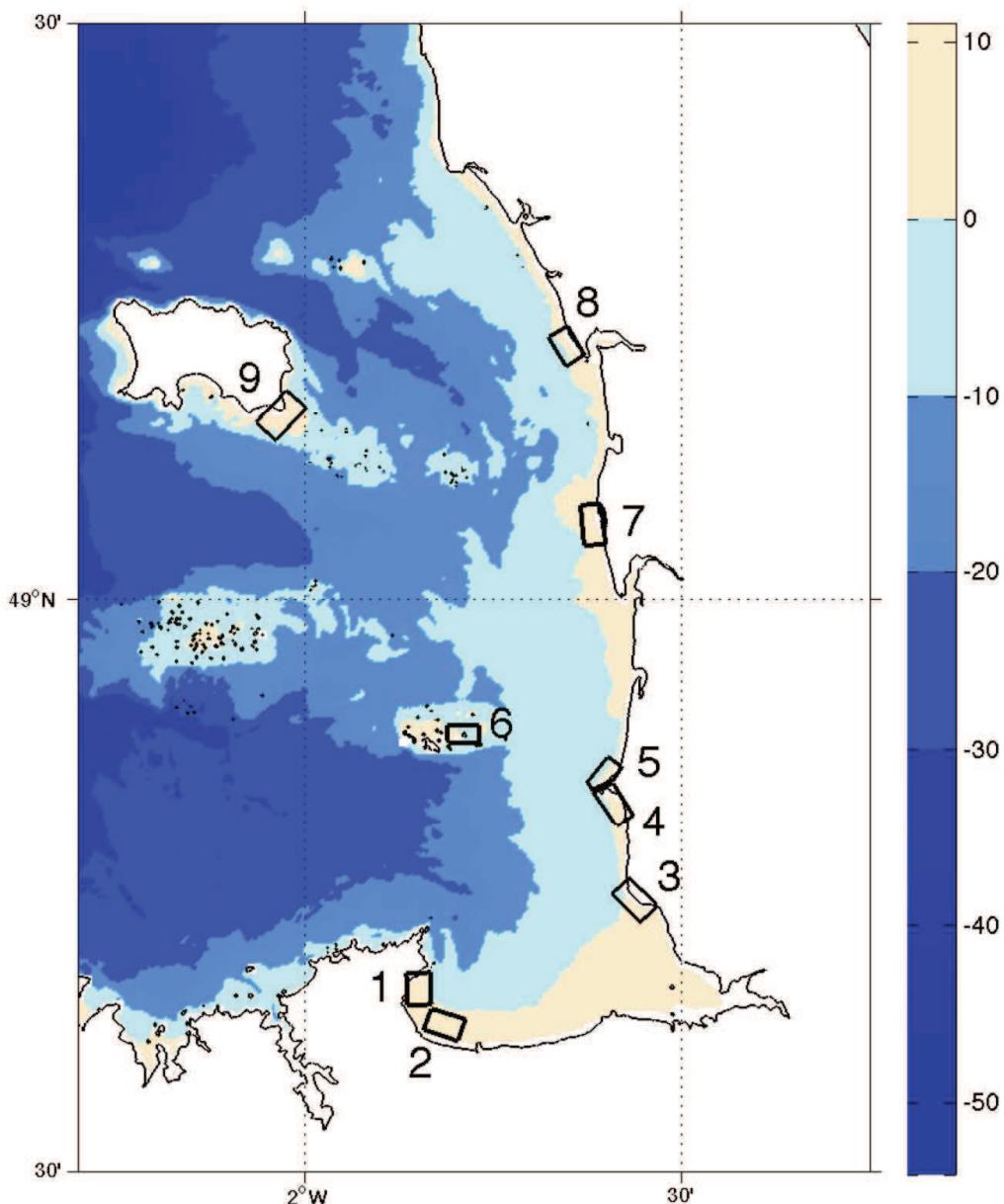


Figure 6: Carte bathymétrique de la zone d'étude et localisation des 9 secteurs définis



Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques liées au type d'activités conchyliques des 9 zones définies (tableau 1).

Numéro secteur	Nom	Intérêt
1	Cancale Nord	zone d'élevage
2	Cancale Sud	zone d'élevage
3	Champeaux	zone de recrutement
4	Granville Sud	zone de recrutement
5	Granville Nord	zone de recrutement
6	Chausey	zone d'élevage et recrutement potentiel
7	Blainville	zone d'élevage et recrutement
8	Saint Germain	zone d'élevage et recrutement
9	Jersey	zone d'élevage

Tableau 1 : Types d'activités conchyliques des 9 zones définies de simulation des pontes

Afin de simuler la ponte et d'étudier la connectivité entre ces secteurs, des concentrations fictives en larves sont introduites à un instant donné dans le modèle. Dans le cadre des simulations, les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- injection instantanée des concentrations de traceurs larves (100 larves/L)
- concentrations en larves spatialement uniformes sur l'intégralité de chaque secteur
- pontes réalisées à marée haute
- pontes synchrones sur tous les secteurs
- larves "passives", c'est à dire qu'on ne simule pas de capacité natatoire (changement de densité pour se déplacer dans la colonne d'eau)
- durée de vie larvaire simulée de 25 jours (ce qui correspond donc à la durée de la simulation)



II. Résultats sur la ponte, la dispersion, le recrutement et la colonisation 2013

a) Contexte "climato-océanique" 2013

• Température de l'eau

La température de surface de l'eau est une des variables couramment mesurée par les satellites. La figure 7 ci-dessous présente l'évolution moyenne mensuelle sur le golfe normand-breton. Les données sont moyennées par mois sur la période 1998-2013. On peut noter que la température de surface est plutôt homogène spatialement sur notre secteur d'étude. Des eaux légèrement plus chaudes sont visibles dans la baie du Mont Saint Michel et à la côte également selon les mois.

Dans la figure 8, l'évolution mensuelle 2013 est présentée en termes d'anomalies de température de surface. Cela correspond donc à la moyenne du mois considéré en 2103 moins la moyenne mensuelle sur toute la période 1998-2013. Après un hiver plutôt doux, Janvier et Février en anomalies positives, le climat de l'année 2013 a engendré une température de l'eau très anormalement inférieure à la normale. Cette anomalie fortement négative (jusqu'à plus de 1.5 °C d'écart à la normale) est présente sur une longue période de 4 mois (Mars à Juin) qui correspond à la période de maturation des gonades. Une très nette augmentation de la température a ensuite eu lieu à partir du mois de Juillet induisant à la côte, sur les zones d'élevage et de stocks sauvages, des anomalies légèrement positives (de l'ordre de 0.5°C).

La température de l'eau en 2013 dans le golfe normand-breton a connu de fortes anomalies négatives du mois de Mars au mois de Juin. L'été, quant à lui, a présenté des caractéristiques thermiques (à la côte) légèrement supérieures à la moyenne interannuelle.

Les images satellites ont l'avantage de nous fournir une représentation spatiale de la température de surface. Cependant des biais peuvent exister dans ce type de données : présence de nuages, mauvaise estimation de la variable sur la bande très côtière, etc. Disposant d'un jeu de données mesurées in-situ, sur une station de mesure pérenne depuis 2000, effectuées par le SMEL dans le cadre des réseaux REMONOR et RESCO, nous avons souhaité vérifier les caractéristiques de l'évolution 2013 sur ces mesures terrain.

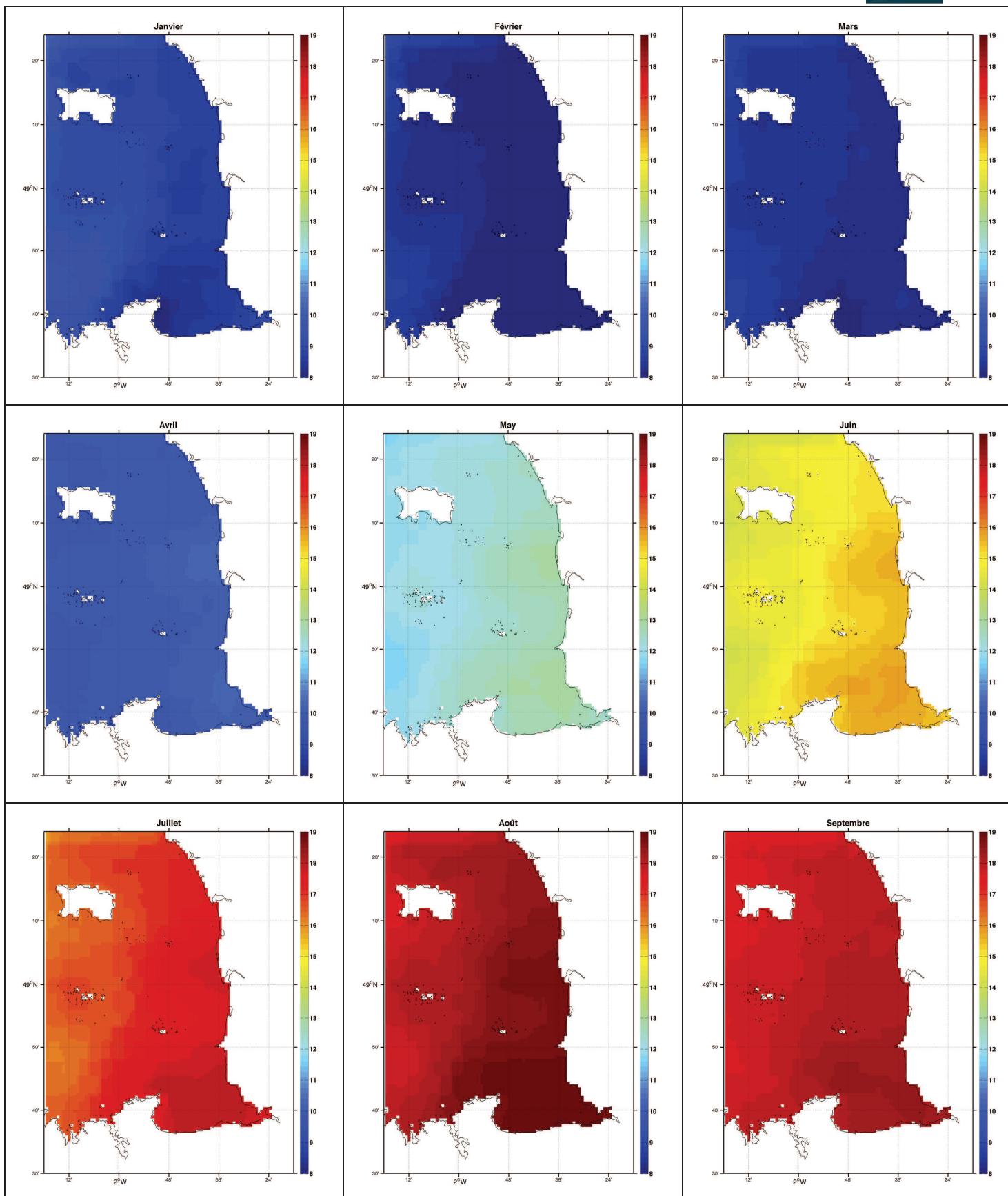


Figure 7 : Evolution moyenne mensuelle de la température de surface durant la période 1998-2013 (unité degré Celsius)

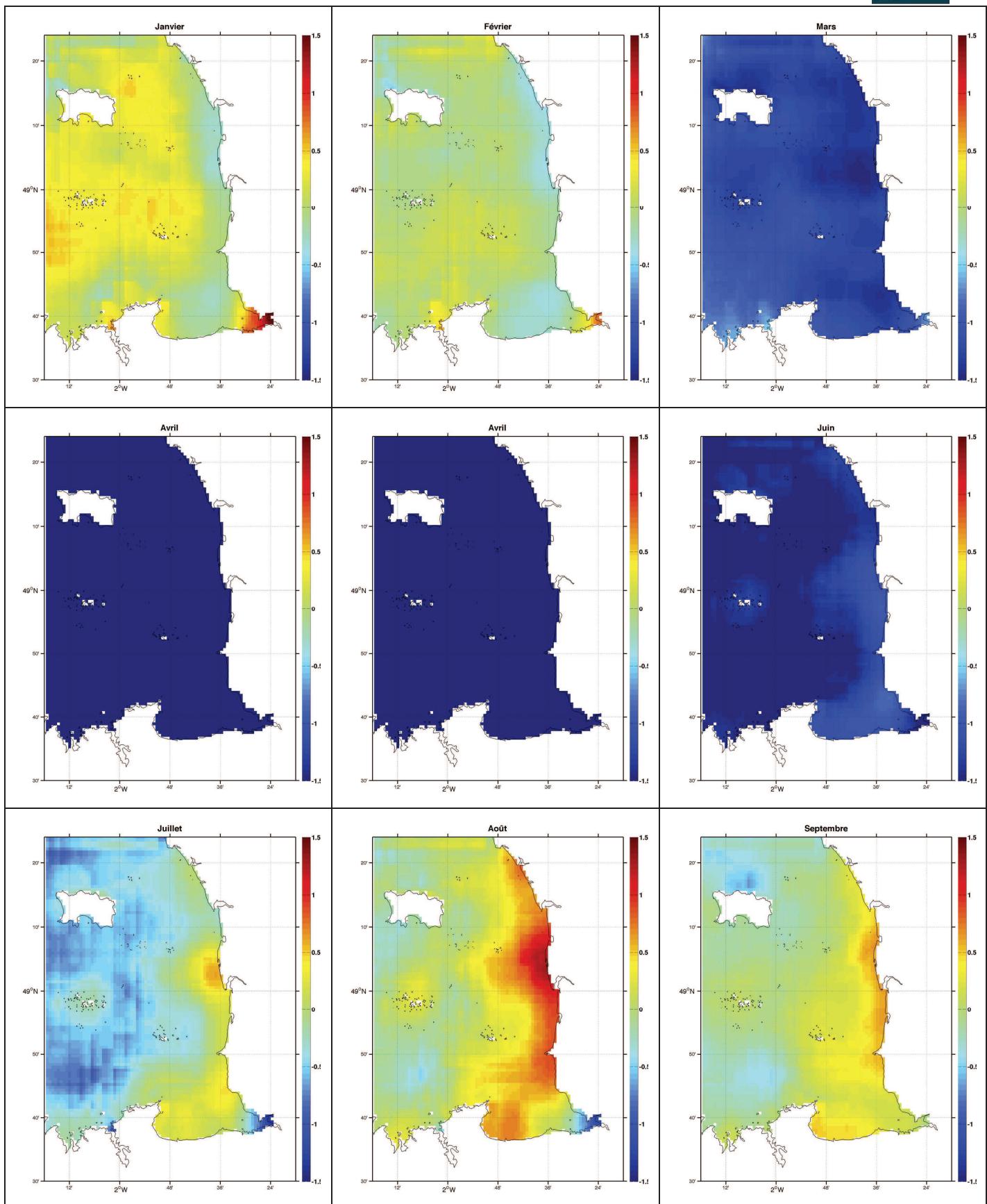


Figure 8: Anomalies mensuelles de température de surface en 2013 (unité degré Celsius)

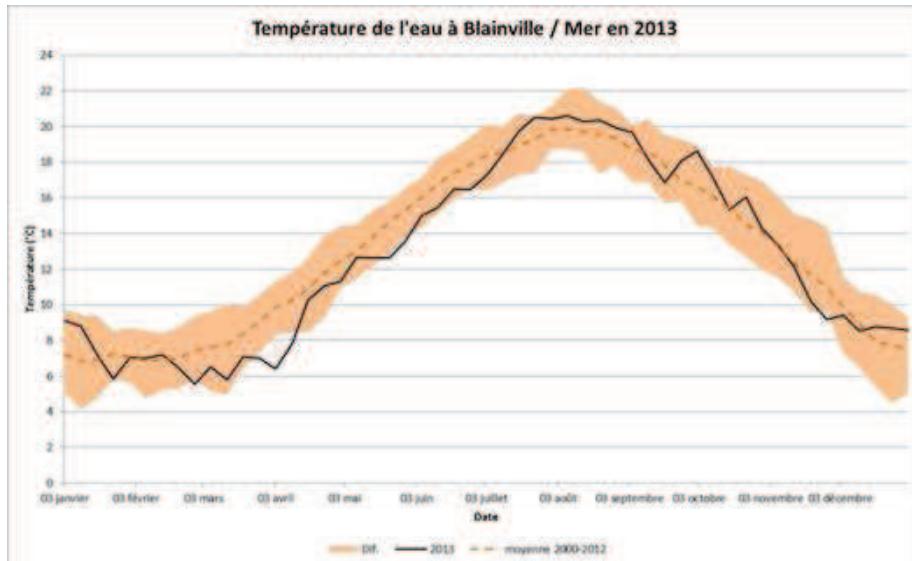


Figure 9: Température de l'eau à Blainville sur Mer

La figure 9 ci-dessus nous présente l'évolution temporelle moyenne de la température de l'eau mesurée à Blainville. En rouge pointillé figure la moyenne interannuelle et en trait plein noir l'année 2013. Les caractéristiques évoquées à l'aide des images satellites se retrouvent donc bien dans ces mesures avec un hiver-printemps plus froid que la moyenne, et un été légèrement plus chaud.

- Source de nourriture - Chlorophylle a

Les images de couleur de l'eau (concentration en Chlorophylle a) peuvent nous fournir une information sur la "disponibilité" en nourriture au cours de la saison. A ce titre, les produits composites MODIS/AQUA et MERIS (Gohin, 2011) ont été réinterpolés sur une grille plus fine sur notre secteur d'étude. La figure 10 représente les moyennes mensuelles (sur la période 1998-2013) des concentrations en Chlorophylle a du golfe normand-breton.

Le bloom printanier débute au mois d'avril sur un secteur situé au nord de Granville. Au mois de mai, le développement phytoplanctonique s'étend jusqu'à couvrir la baie du Mont Saint Michel et le nord Bretagne. Les valeurs moyennes les plus élevées sur le secteur se situent autour de $4 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pour les mois suivants, les valeurs les plus importantes sont cantonnées à la frange côtière et à la baie du Mont Saint Michel avec des concentrations en chlorophylle a maximales comparables au maximum printanier (autour de $3,5$ à $4 \mu\text{g.L}^{-1}$).

L'année 2013 est par la suite présentée en termes d'anomalies de concentration en Chlorophylle a (Figure 11). Les cartes montrent donc la différence entre la moyenne 2013 et la moyenne interannuelle (moyenne 1998-2013). Cela nous permet d'apporter une information sur la disponibilité en phytoplancton comparativement au fonctionnement moyen.

On observe une anomalie négative relativement importante pour ce secteur (supérieure à $1 \mu\text{g.L}^{-1}$) qui débute dès le mois d'avril et se poursuit jusqu'au mois de septembre. Cela concorde bien avec températures inférieures à la normale pour ce printemps 2013, sans doute lié à un déficit en termes de lumière pour cette année. **La disponibilité en nourriture en 2013 lors de la période maturation des huîtres (mai-juin) semble donc avoir été largement inférieure à la moyenne interannuelle.**

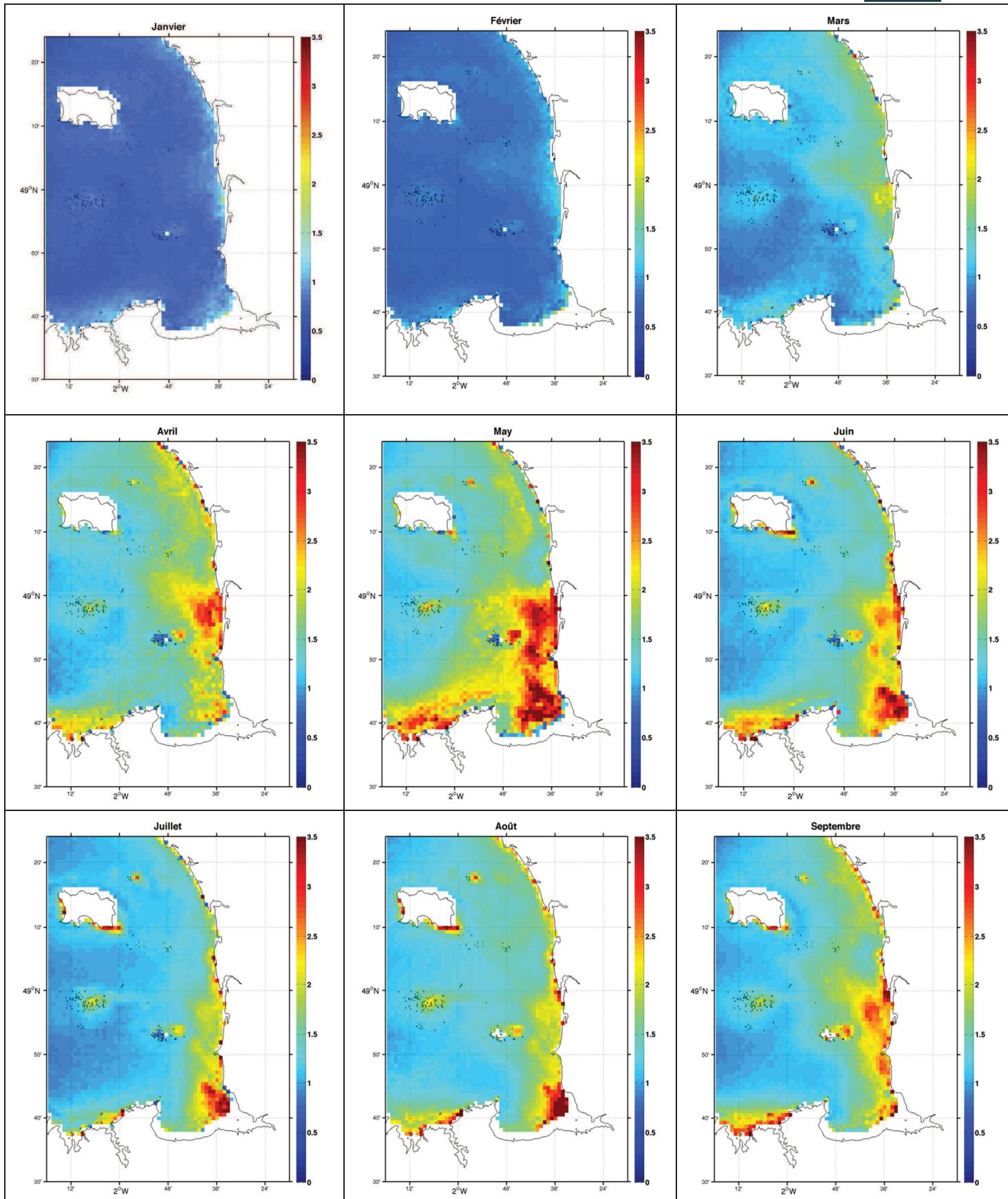


Figure 10: Concentrations moyennes mensuelles en Chl a (moyenne 1998-2013) ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

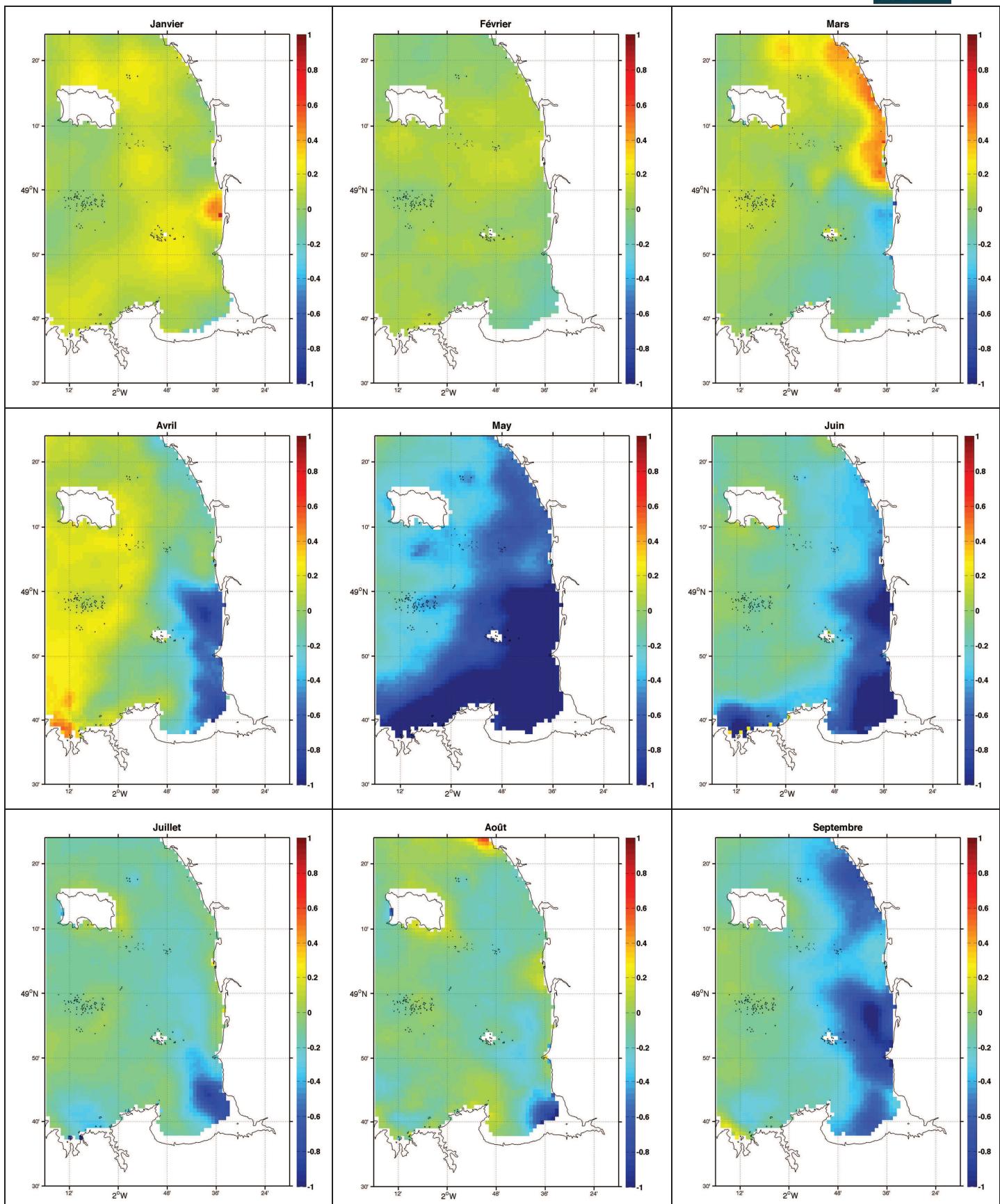


Figure 11: Anomalies mensuelles de Chl a en 2013



- Vent estival

De la même manière que la chlorophylle, la météo estivale (en l'occurrence les vents) de 2013 est comparée au "fonctionnement moyen" observé sur la période 1998-2013. Les figures ci-dessous représentent donc les roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre (moyenne des vents en nœuds entre 1998 et 2013) et les roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre de l'été 2013 (Figure 12).

Une rose des vents indique le pourcentage d'occurrence de vent, classé par la direction (tranches de 10° indiquant le secteur de provenance) et la force du vent (indiquée par les couleurs). L'unité d'intensité de ces graphiques est le nœud (1 nœud = 1,85 km.h⁻¹).

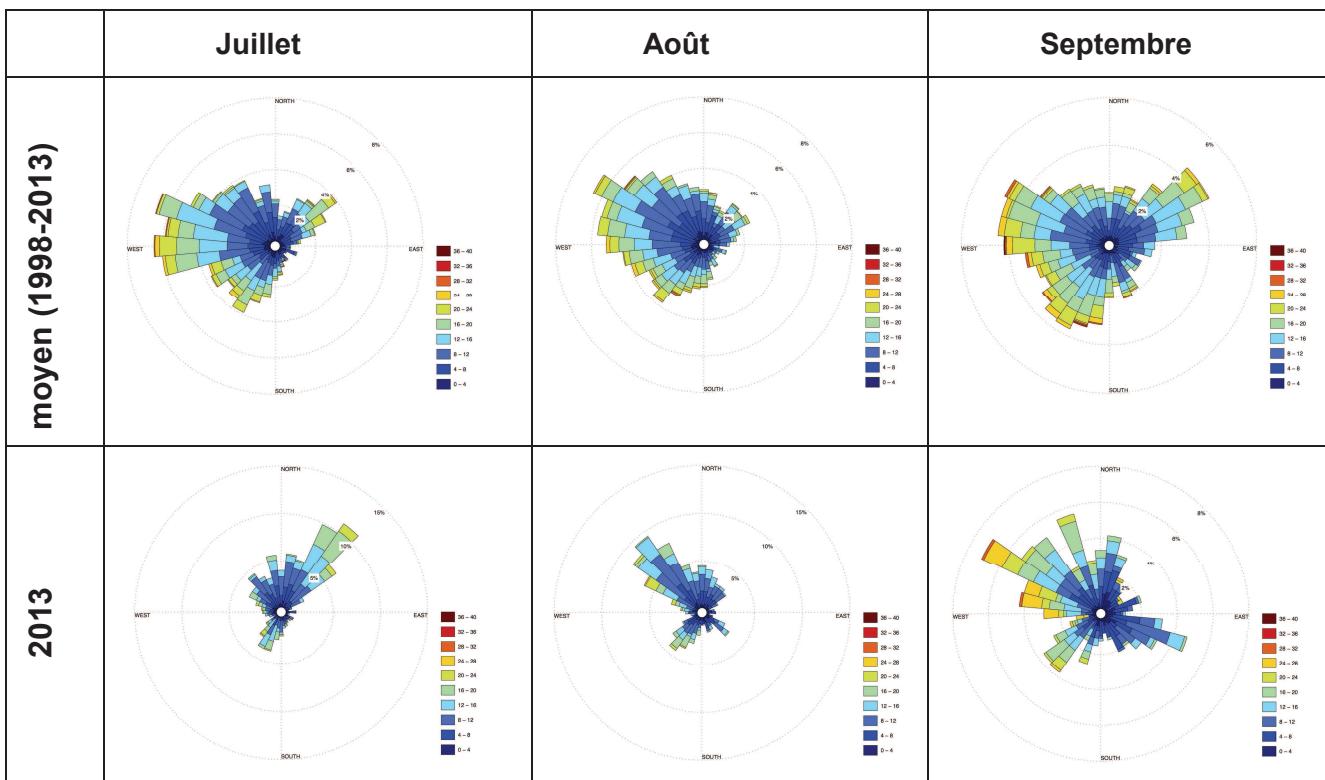


Figure 12: roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre (moyenne des vents en nœuds entre 1998 et 2013) et roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre de l'été 2013.

Les mois de juillet sont généralement caractérisés par une distribution de vent provenant majoritairement des secteurs Ouest et Sud-ouest. C'est également depuis ces secteurs que l'on retrouve les vents les plus forts. Le mois de juillet 2013 s'écarte un peu de ce schéma avec des vents relativement faibles et provenant principalement du secteur Nord-est.

Pour les mois d'août les vents soufflent fréquemment sur des secteurs compris entre le Nord-Ouest et le Sud-ouest. Le diagramme d'août 2013 nous fait ressortir un mois présentant une distribution essentiellement située entre des vents de secteurs Nord-Ouest à Nord.

Les mois de septembre présentent une répartition des provenances plus hétérogènes avec 3 axes majeurs (Nord-ouest, Sud-ouest et Nord-est) mais également des intensités plus fortes que les mois de juillet-août. Durant le mois de Septembre 2013, le diagramme affiche également une hétérogénéité des provenances avec des vents ayant soufflé majoritairement autour du secteur Nord-Ouest avec de forts épisodes (> 24 nœuds).



En conclusion, l'été 2013 a présenté une occurrence supérieure à la normale pour les vents de secteurs Nord (Nord-ouest et Nord-est). On peut noter également de faibles fréquences pour les vents de secteur Sud-ouest.

b) Détermination des dates de ponte

La détermination de la date de ponte se fait par analyse des données de l'évolution de l'indice de chair (ou AFNOR) sur les huîtres du réseau RESCO (cf. chapitre I.a.). Deux stations sont suivies dans notre étude, Cancale et Blainville sur Mer. Le graphique ci-dessous montre l'évolution de l'indice moyen de chair, de la température de l'eau et indique les périodes de pontes de chaque station (Figure 13).

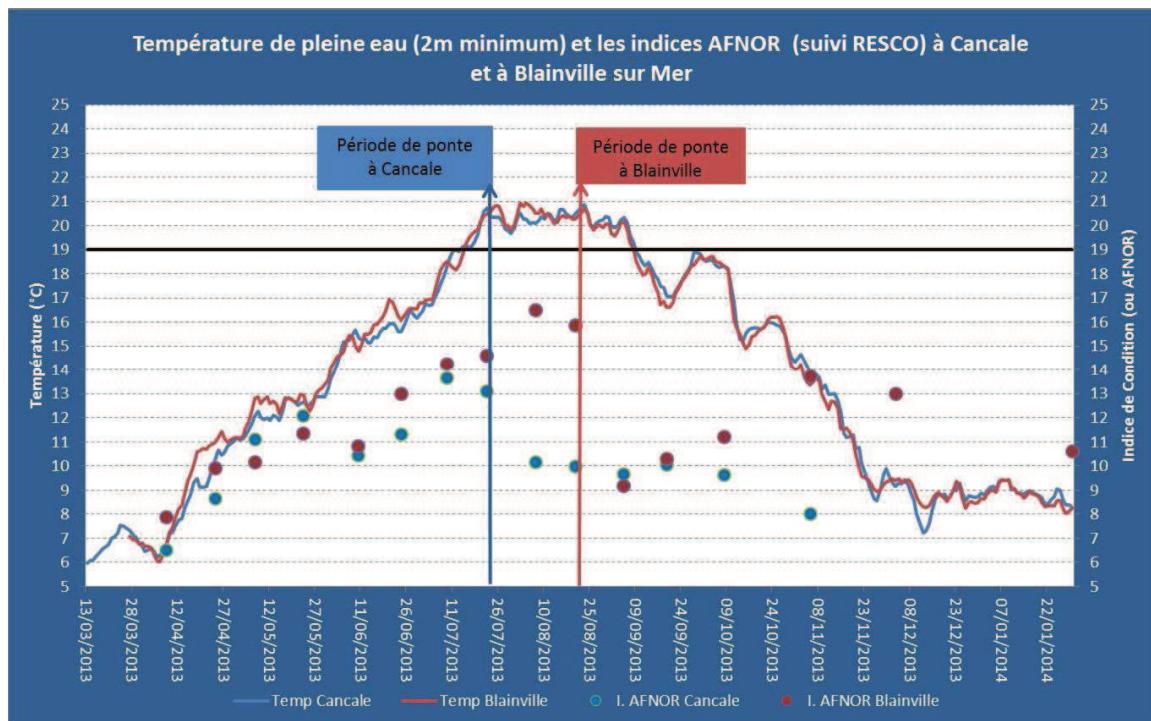


Figure 13: Evolution de l'indice moyen de chair, de la température de l'eau et périodes de pontes de chaque station.

Les résultats confirment les données de températures enregistrées mesurée par les satellites (chapitre 3.1 "Contexte climato-océanique"). Pour les deux stations, le profil thermique est quasiment identique, avec un printemps froid et une période estivale plus chaude. Pour les deux stations, l'indice AFNOR augmente tout au long du printemps (avec une légère baisse début juin) puis chaque station subit une chute brutale en été. Cette chute correspond à la ponte estivale des huîtres et montre un décalage d'un mois entre la ponte des huîtres à Cancale et celle de Blainville sur Mer. En effet, à Cancale, la ponte aurait eu lieu fin juillet et fin août à Blainville sur Mer.

Même s'il apparaît que les modalités d'action de la température sur le développement larvaire de l'huître soient complexes, des études dans le bassin d'Arcachon laissent à penser que la température pour un bon développement larvaire doit être comprise entre 19°C et 27°C (Bernard, 2011). Or, durant l'année 2013, la température de l'eau pour les deux stations a été inférieure à 19°C après le 9 septembre ce qui aurait pu défavoriser le



développement des larves de Blainville dont la ponte est survenue un mois après celle de Cancale.

c) Résultats des bouées dérivantes : lâcher de Septembre

Au mois de Septembre 2013, dans l'optique de réaliser des mesures in-situ de circulation de surface dans le GNB, mais également d'acquérir des données terrain utiles à la calibration/validation du modèle hydrodynamique, deux lâchers de bouées dérivantes ont été réalisés dans le secteur de la baie du Mont Saint Michel. La figure 14 ci-dessous présente les 6 points de lâcher de la première expérience du 12/09/2013.

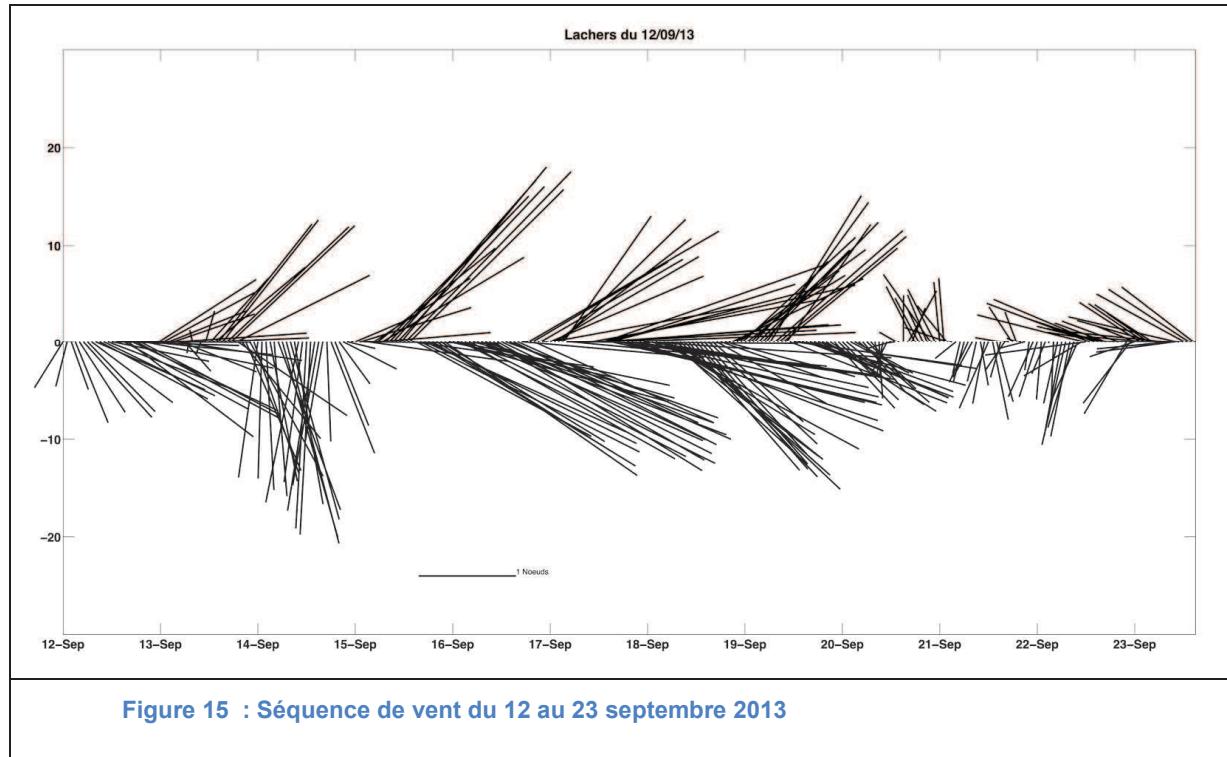


Ces emplacements ont été choisis principalement pour suivre les trajectoires des secteurs d'intérêt de cette étude (zone ostréicole intertidale et subtidale Cancalaise, zone de Champeaux). L'hypothèse de départ étant que les secteurs essaient les huîtres sauvages colonisant le littoral du Cotentin pourraient être les zones d'élevage de Cancale, les 6 points de lâcher ont donc été répartis en fonction de celle-ci mais aussi de la bathymétrie caractéristique (isobathes en arc de cercle) du fond de la baie du Mont-Saint-Michel, entre l'est de Cancale et la pointe de Champeaux.

La météo (direction et intensité du vent) est un facteur prépondérant influençant la circulation de surface, même dans des zones à forts courants de marée.

La figure 15 ci-dessous est une représentation de la série temporelle de vent (intensité et direction) sous forme de "barbs" (barres) avec une échelle de 10 noeuds (barre horizontale). L'orientation des barbs correspond à la direction vers laquelle souffle le vent. Donc, d'après la convention météorologique, une barre verticale orientée vers le bas depuis l'origine (0) représente un vent du Nord soufflant vers le Sud. La séquence suivante débute donc avec des vents de secteur Nord-Ouest (i.e soufflant vers le Sud-Est). La journée du 14 septembre est par exemple une journée où le vent a soufflé du secteur Nord (i.e. vers le

Sud). Le premier lâcher de bouées a donc connu des conditions météorologiques assez variables avec de forts vents de secteur Nord (e.g. 14 septembre) et également de forts vents de secteur Nord-ouest (16/09, 18/09 et 19/09). Les données représentées, ainsi que celles des graphiques de vent suivants proviennent d'une extraction du modèle Arome (Météo-France) en un point situé au milieu de la baie du Mont-Saint-Michel.



Les bouées ont suivi des trajectoires oscillantes en fonction de la marée (figure). Le déplacement résiduel des bouées ayant été “piégées” dans la circulation au large de la pointe du Grouin (bouées 0001, 0002 et 0003) est plutôt orienté vers le Nord-est remontant vers le secteur de Granville, malgré les forts vents de Nord-Ouest. La structure courantologique au large de la pointe du Grouin semble donc très stable. Ce gyre présent au large de Cancale est décrit dans la publication de Ayata et al. de 2009 sous différentes conditions de vent. Les bouées 0004, 0005 et 0006 ont quant à elles été plus sensibles au vent subi et repoussées en fond de baie du Mont Saint Michel. La bouée LERN-I-0004 a même été retrouvée échouée par des personnes effectuant la traversée de la baie.

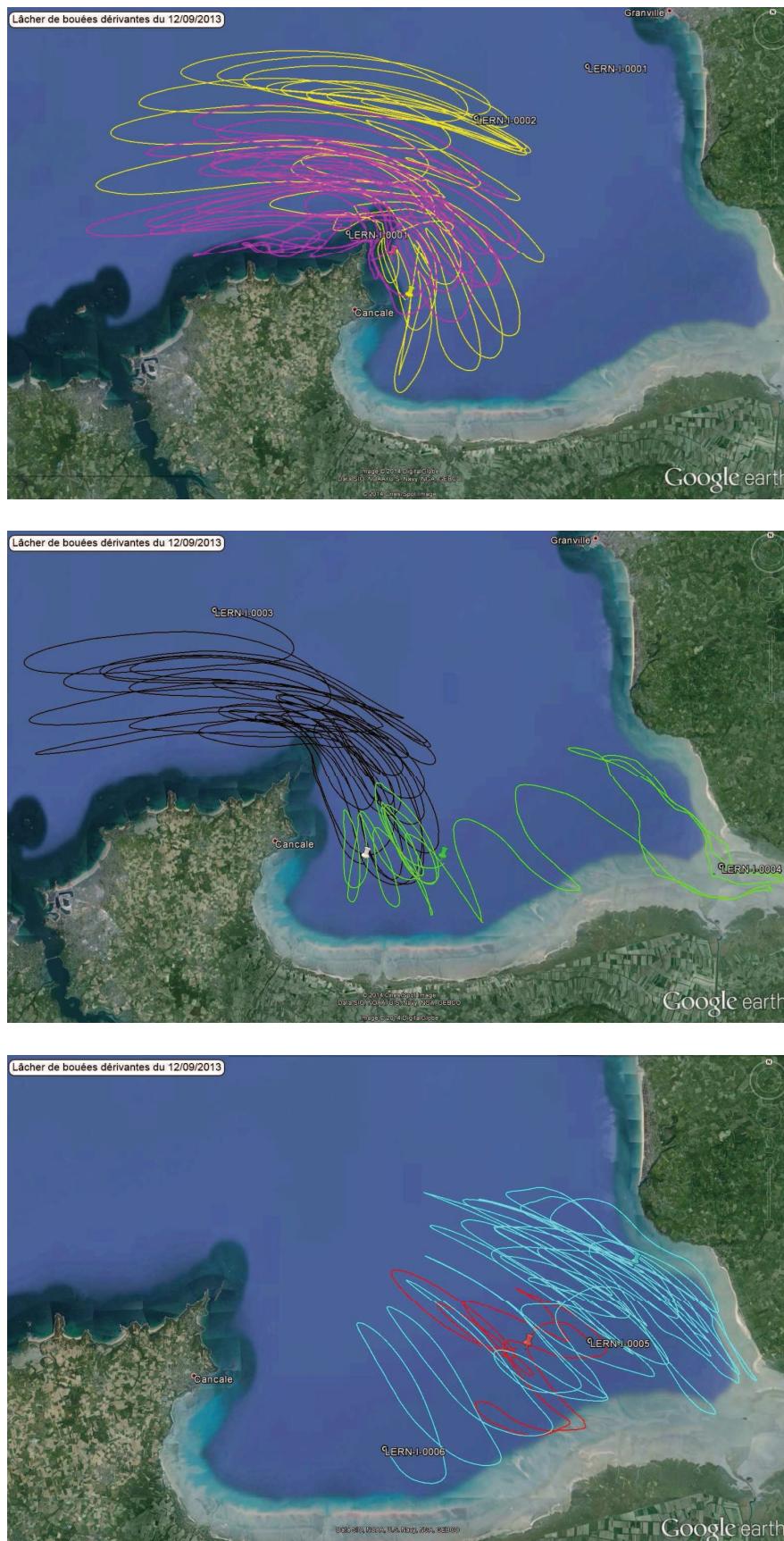
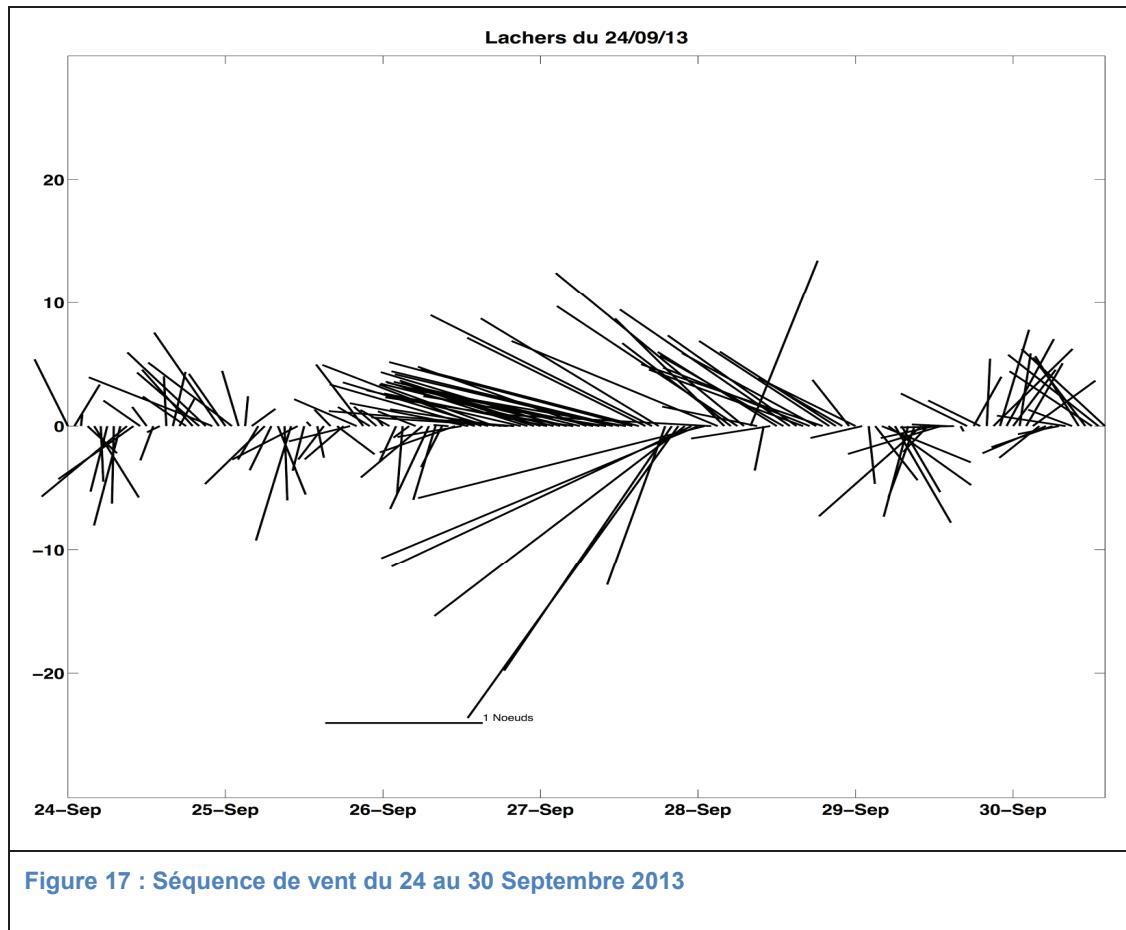


Figure 16 : trajectoires des bouées du 12 septembre 2013



La figure 17 ci-dessous représente de la même façon le vent sur la période du 2e lâcher (du 24 au 30 septembre 2013). L'échelle est toujours de 10 nœuds (cf barre horizontale). Les vents ont été beaucoup moins intenses que lors du premier lâcher et ont plutôt soufflé du Sud-est (i.e vers le Nord-ouest).



Après analyse des trajectoires obtenues à l'issue du lâcher du 12/09, il a été décidé pour le deuxième lâcher de modifier la position géographique des points situés initialement sur la partie Est de la baie du Mont-Saint-Michel (figure 18). Les points à l'Est et Sud-est de Cancale ont été maintenus, tandis que 3 nouveaux points répartis au Sud, Ouest et Nord de la pointe du Roc ont été créés.



Les résultats ont montré:

- une structure courantologique très stable au large de la pointe du Grouin déjà observée précédemment (bouées 2 et 4)
- une nette différenciation Nord - Sud au niveau de la circulation résiduelle de part et d'autre de la pointe du Roc: les bouées 6 et 1 sont descendues vers le sud - sud-est (malgré des vents défavorables) alors que la bouée 3 est montée très rapidement vers le nord.

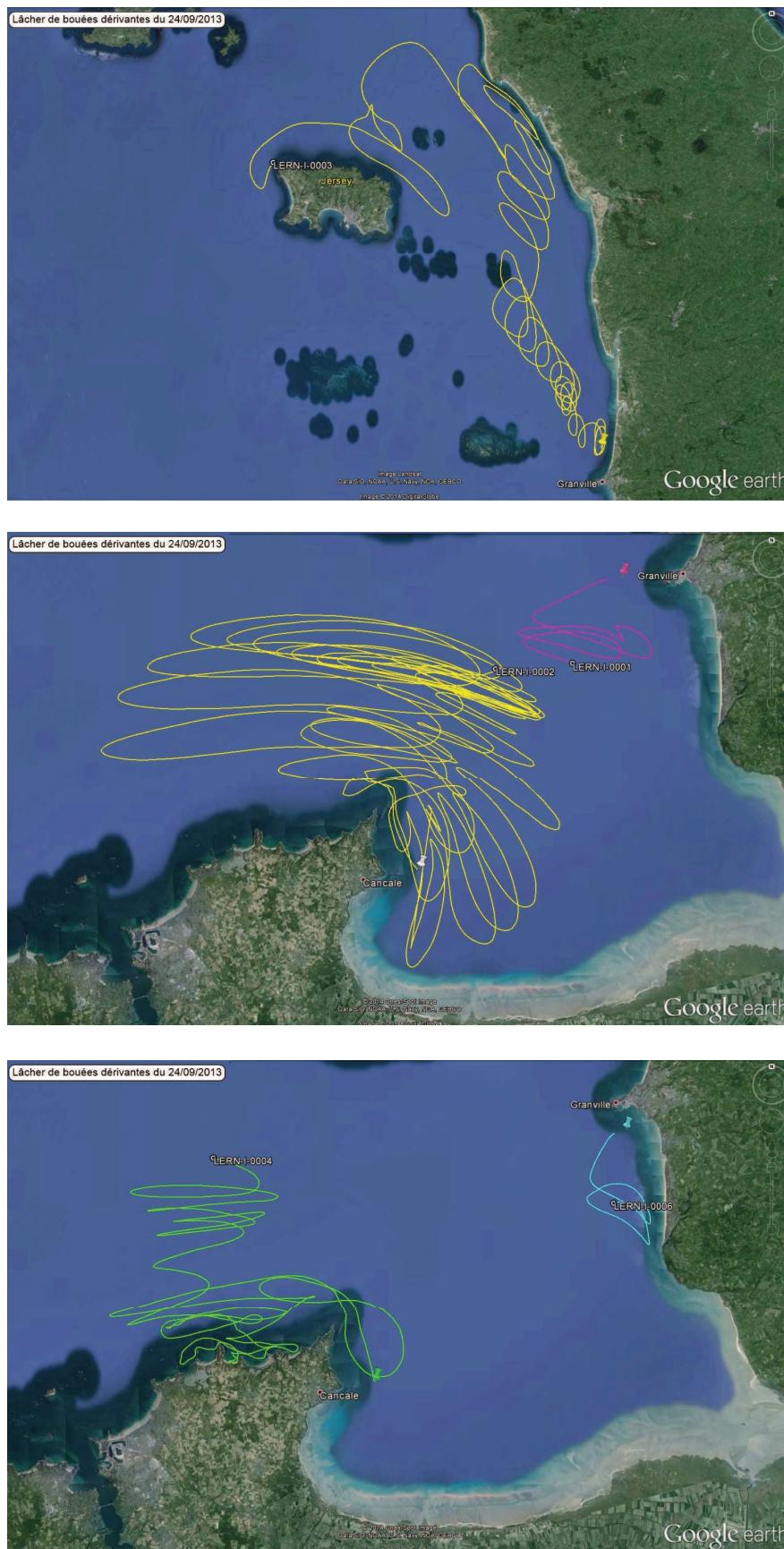


Figure 19: trajectoires des bouées du 24 septembre 2013

d) Dispersion larvaire modélisée

- calibration bouées/modèles

Les lâchers de bouées dérivantes ont permis, outre le fait d'obtenir des informations réalistes sur la circulation de surface (donc forcée par le vent) dans le secteur de la baie du Mont Saint Michel, de comparer les trajectoires mesurées avec les trajectoires simulées par le modèle NORM. La figure 20 ci-dessous présentent une comparaison des trajectoires obtenues sur le terrain (en rouge) et à l'aide du modèle (en noir) lors des premiers jours du lâcher du 12 septembre. On peut noter une bonne concordance entre les trajectoires simulées et mesurées, et également une bonne adéquation sur le déplacement résiduel final (c'est à dire le déplacement à l'issue des différents cycles de marée).

Toutefois, les différences minimales de trajectoires mesurées et simulées peuvent s'expliquer de la manière suivante :

- Les vents de secteur Nord du 14/09 (cf Figure 15) ont eu un impact fort sur la trajectoire de la bouée LERN-0006, la rapprochant sensiblement de la côte Sud de la baie.
- L'effet de ces vents est moins visible sur la bouée LERN-0003, mais il est quand même présent, celle-ci restant cantonnée à osciller à proximité de la pointe du Grouin.

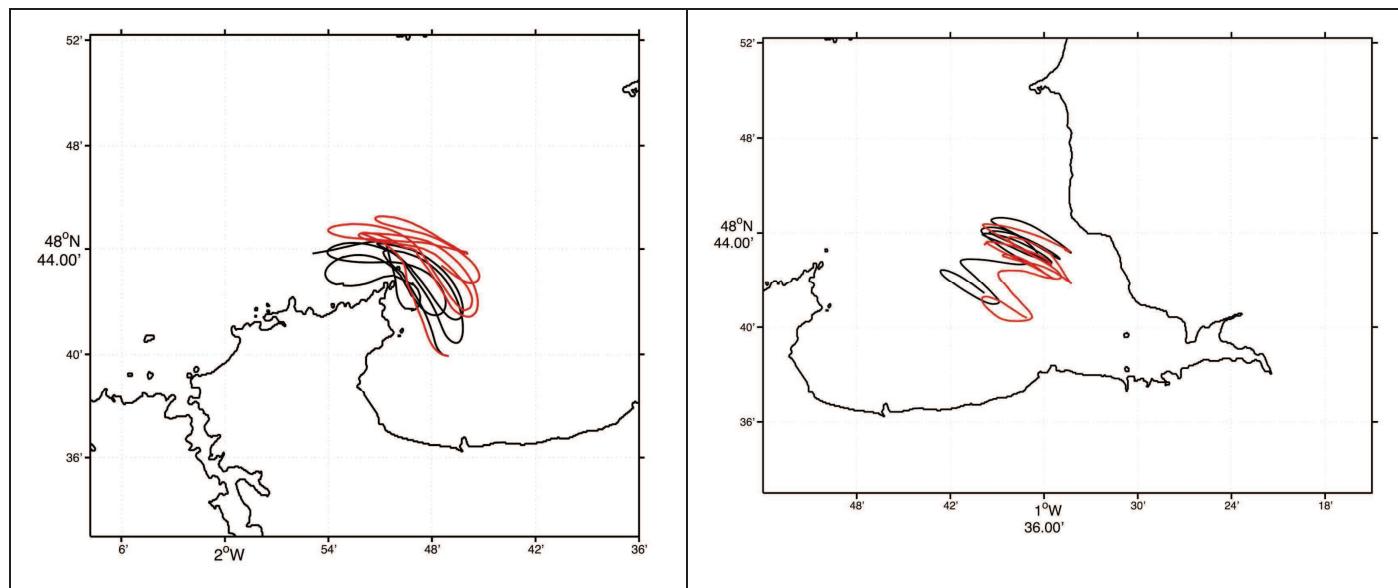


Figure 20: à gauche, comparaison bouées modèle sur le point de lâcher LERN-0003 ; à droite comparaison bouées modèle sur le point LERN-0006

- résultats sur la dispersion larvaire modélisée

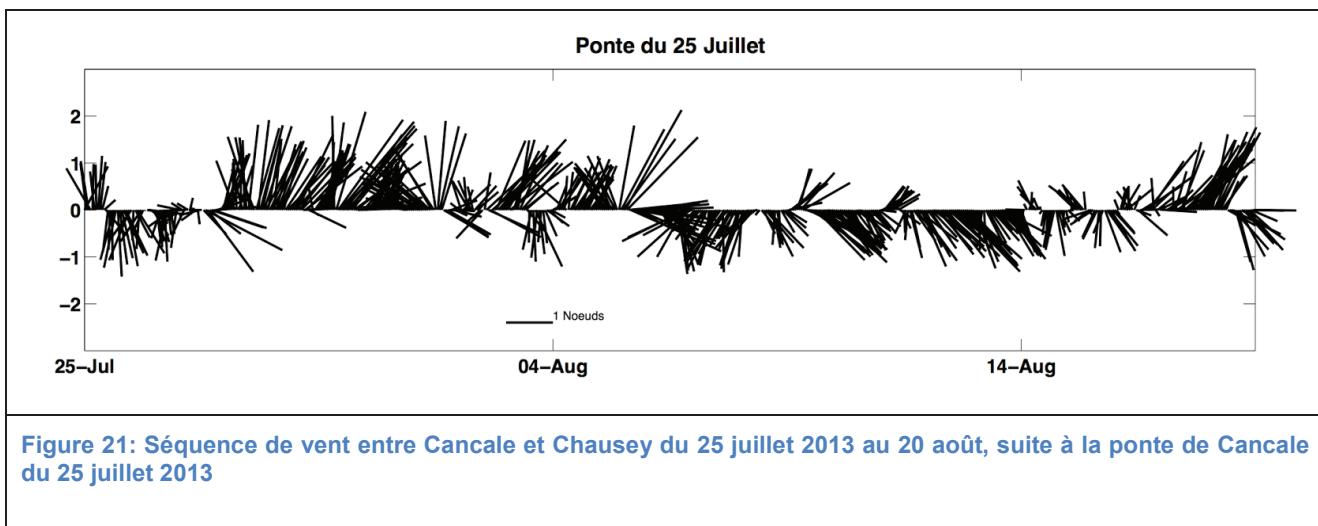
La modélisation étant une “simplification” de la réalité, des hypothèses ont dû être retenues pour les simulations de transport larvaire (cf paragraphe 4, stratégie de modélisation). Mises à part ces hypothèses concernant principalement la ponte et le comportement des larves, les simulations suivantes ont été effectuées de manière réaliste en ce qui concerne l'environnement. Le forçage météorologique provient du modèle haute résolution AROME (Météo France), la marée et les apports terrigènes (débits des bassins versants) sont introduites de façon réaliste.

Grâce à la détermination des dates de ponte issues des résultats du suivi RESCO, 2 simulations ont été effectuées : une ponte survenue le **25 juillet 2013** et une le **20 août 2013**. Afin d'analyser la connectivité potentielle entre les différentes zones définies, pour chaque simulation, on introduit une concentration de larves de façon synchrone à l'intérieur de chaque secteur à marée haute. Les modèles fournissent une quantité d'information très importante. Nous avons donc choisi, au sein de ce rapport de ne présenter et commenter que le transport lié à 2 secteurs d'intérêt, qui sont également les deux seuls sites suivis dans le cadre du RESCO et fournissant des données essentielles sur les dates de ponte :

- La première série d'évolution spatiale et temporelle de concentration larvaire concerne la ponte du 25 juillet 2013 à partir du secteur de Cancale Sud. Elle a été choisie car la zone ostréicole de cancale est considérée comme étant le secteur source pour le naissain colonisant le littoral du Cotentin.
- Le second choix s'est porté sur la ponte de Blainville sur Mer du 20 août 2013.

Ponte 1 => Cancale Sud du 25 juillet 2013

La figure 21 présente la météo (vent) pendant les 25 jours ayant suivi la ponte. Comme précédemment la donnée source en termes de vent provient du modèle AROME extraite sur un point entre Cancale et Chausey. L'échelle est de 10 nœuds également (comme les figures précédentes de ce type). Durant les 10 premiers jours après la ponte, après un court épisode de vents de secteur Nord, les vents ont été relativement soutenus et ont soufflé vers le Nord-est, jusqu'au 6 août approximativement. La deuxième moitié de la séquence montre des vents majoritairement de secteurs Nord et Nord-ouest.



Les résultats présentés dans la figure 22 montrent qu'une partie des larves dérive rapidement vers la pointe du Grouin au nord de Cancale dès le 2^{ème} jour puis progressivement, durant une dizaine de jours, se rapproche du secteur ouest Cotentin depuis Granville jusqu'au havre de Lessay avec une dilution vers le nord. L'autre partie de la ponte, plus importante, reste confinée dans le sud de la baie du mont Saint-Michel, entre Cancale (35) et Champeaux (50) pendant les 25 jours simulés.

On peut constater que les larves remontent vers le nord dès les premières heures de simulations malgré un vent de Nord. La composante courant semble être primordiale dans ce secteur. Les vents de secteur Nord pendant la deuxième moitié de la séquence météo ont induit un effet de cantonnement dans le Sud de la baie du Mont-Saint-Michel.



Afin d'obtenir une vision intégrée des échanges entre les secteurs, des matrices de connectivité (Paris et al., 2007) ont été générées pour chaque jour de la période de dispersion simulée. Ces matrices indiquent la probabilité qu'une larve émise à partir d'un secteur i, se retrouve dans le secteur j après un temps de transport T. Cette probabilité correspond au ratio entre le nombre de larves (à l'intérieur du secteur j) issues du secteur i et le nombre de larves initialement présentes sur le secteur i. Les ordonnées correspondent aux secteurs d'émission et en abscisses figurent les secteurs d'accueil.

Afin de faciliter la lecture de ces matrices, ces probabilités ont été multipliées par 100 et sont représentées par une échelle de couleur. Il faut bien noter que ces matrices de connectivité dépendent fortement de l'instant (donc de la durée après la ponte) à laquelle on les regarde.

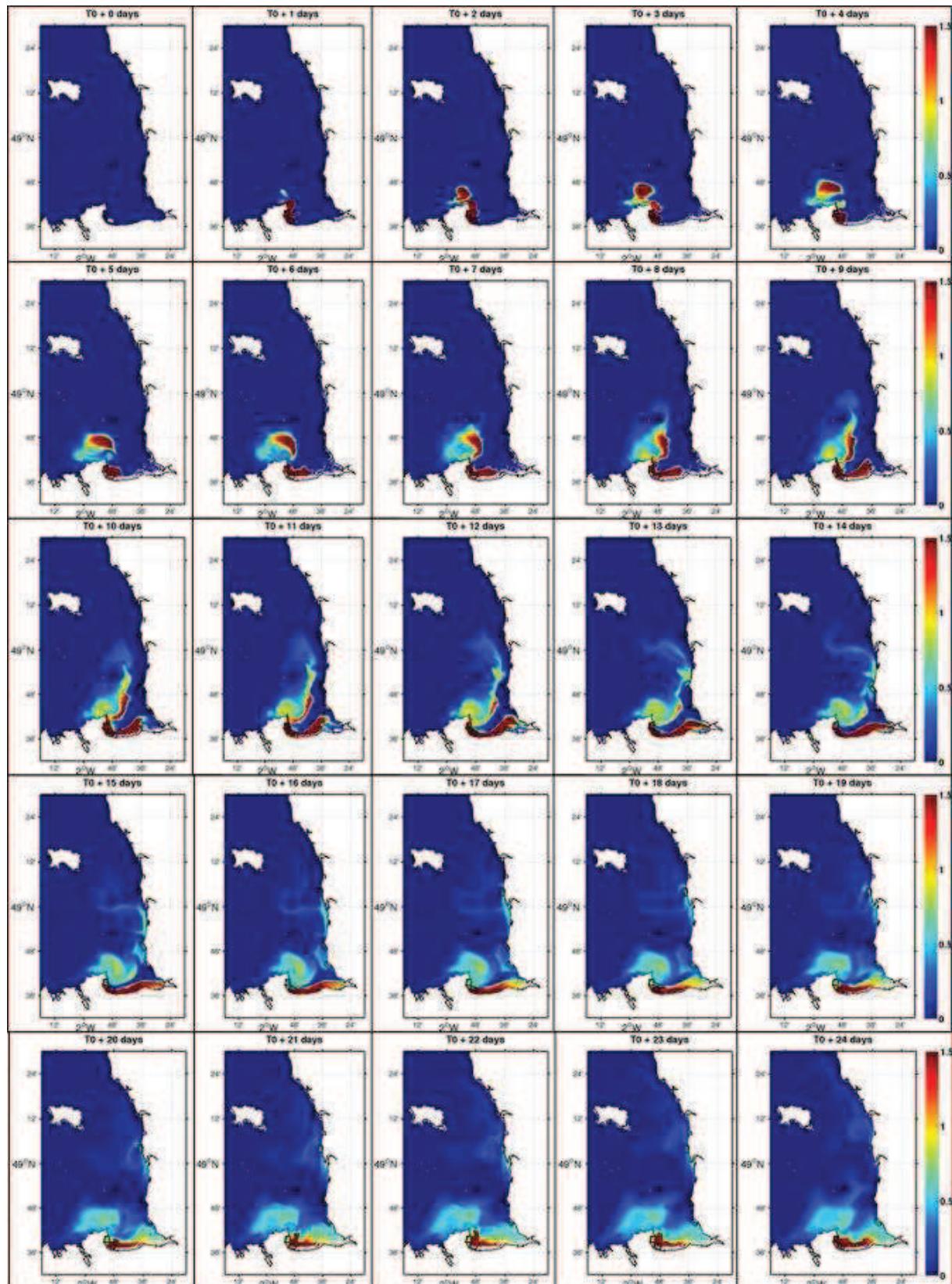
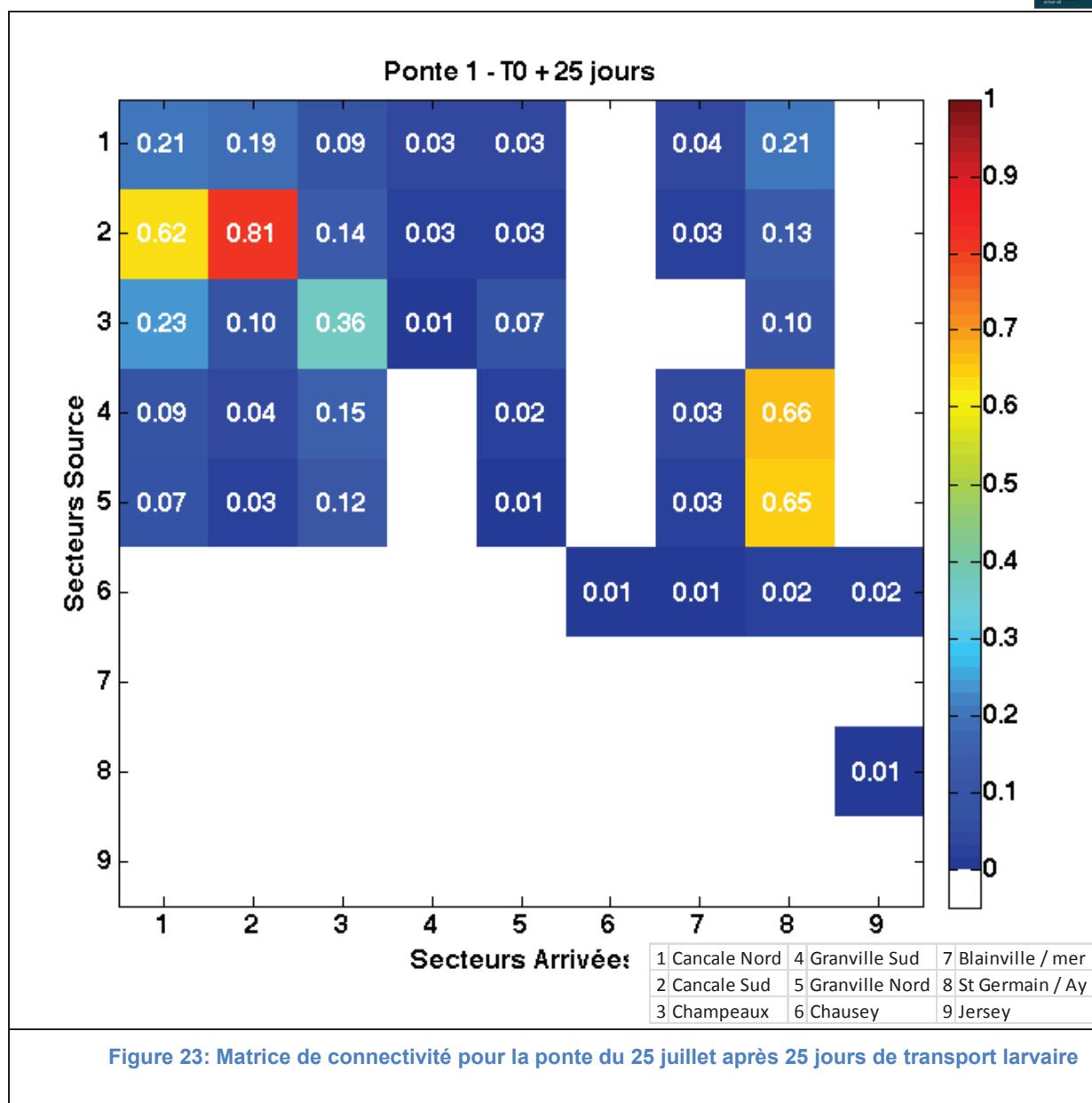


Figure 22 : Simulation de la dispersion des larves depuis une ponte à Cancale (25 juillet 2013) exprimée en concentration larvaire.



Après 25 jours de transport dans des conditions réalistes, la matrice de connectivité (figure 23) nous permet de quantifier le nombre d'individus potentiellement échangés entre les secteurs. On peut tout d'abord noter que les pourcentages dans les différentes cases sont très faibles (moins de 1% partout). Après ces 25 jours, le secteur 6 de Chausey semble vraiment déconnecté des autres, n'alimentant que très faiblement (on peut se demander si ces valeurs sont significatives ou de l'ordre de l'erreur ?) les secteurs de Blainville / Mer, de St Germain / Ay et de Jersey. A l'issue de cette ponte virtuelle, on peut noter que les secteurs de Granville Nord et Sud représentent dans ces conditions météo, de potentiels secteurs source pour la zone de St Germain / Ay. On rappelle à ce niveau que nous n'avons l'assurance de la ponte du 25 juillet que sur la zone de Cancale. Les 7 autres pontes sont hypothétiques et permettent surtout de mieux appréhender la connectivité entre les zones.

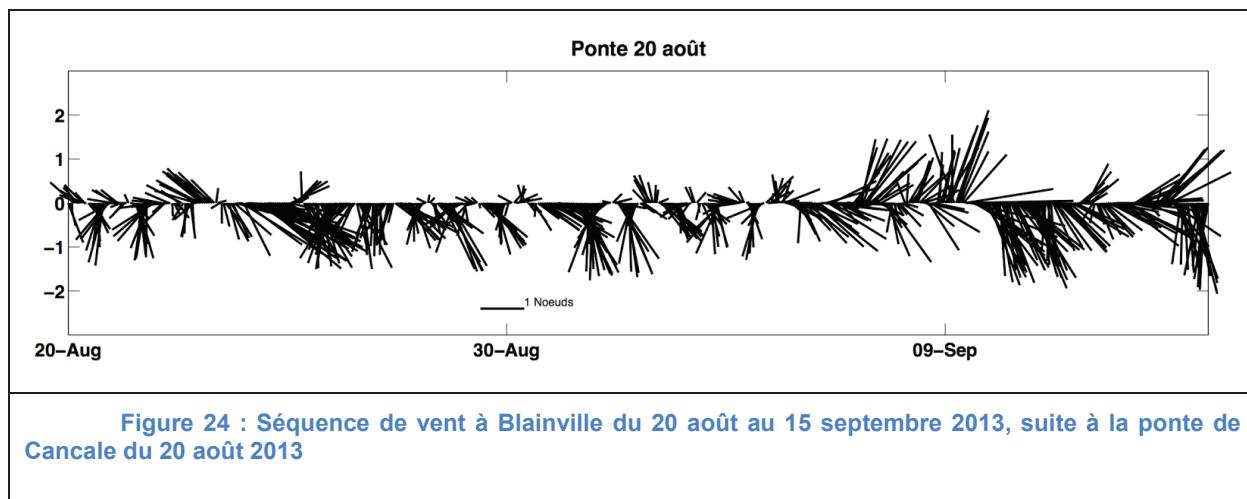
Les secteurs de Cancale semblent essentiellement s'auto-alimenter. Le secteur de Champeaux reçoit potentiellement une partie des larves des secteurs allant de Cancale nord à Granville Nord avec également une bonne part d'auto-alimentation. Les secteurs Granville

Sud et Nord eux, dans ce scénario, sont des zones peu réceptrices, alors qu'il s'agit des deux zones les plus fortement colonisées.

Ponte 2 => Blainville du 20 aout 2013

La simulation montre une dispersion très rapide vers le nord de Blainville dès le 1er jour de ponte puis se sépare en deux "poches" le 3^{ème} jour. L'une reste confinée sur la côte entre Blainville/Mer et Carteret pour se diluer significativement après une quinzaine de jours. L'autre poche est déviée par les courants vers l'Ouest et se dirige dans le secteur des Minquiers avant d'entamer dès la fin de la 1^{ère} semaine une rotation autour de Jersey avec une dilution progressive des concentrations en larves.

Le vent, durant cette période, majoritairement de nord - nord ouest, plutôt modéré, ne semble pas influencer significativement la trajectoire des larves. On peut cependant souligner qu'une séquence météo telle que celle-ci, à savoir environ 20 jours de secteur Nord-Ouest n'est pas très courante dans ce secteur.



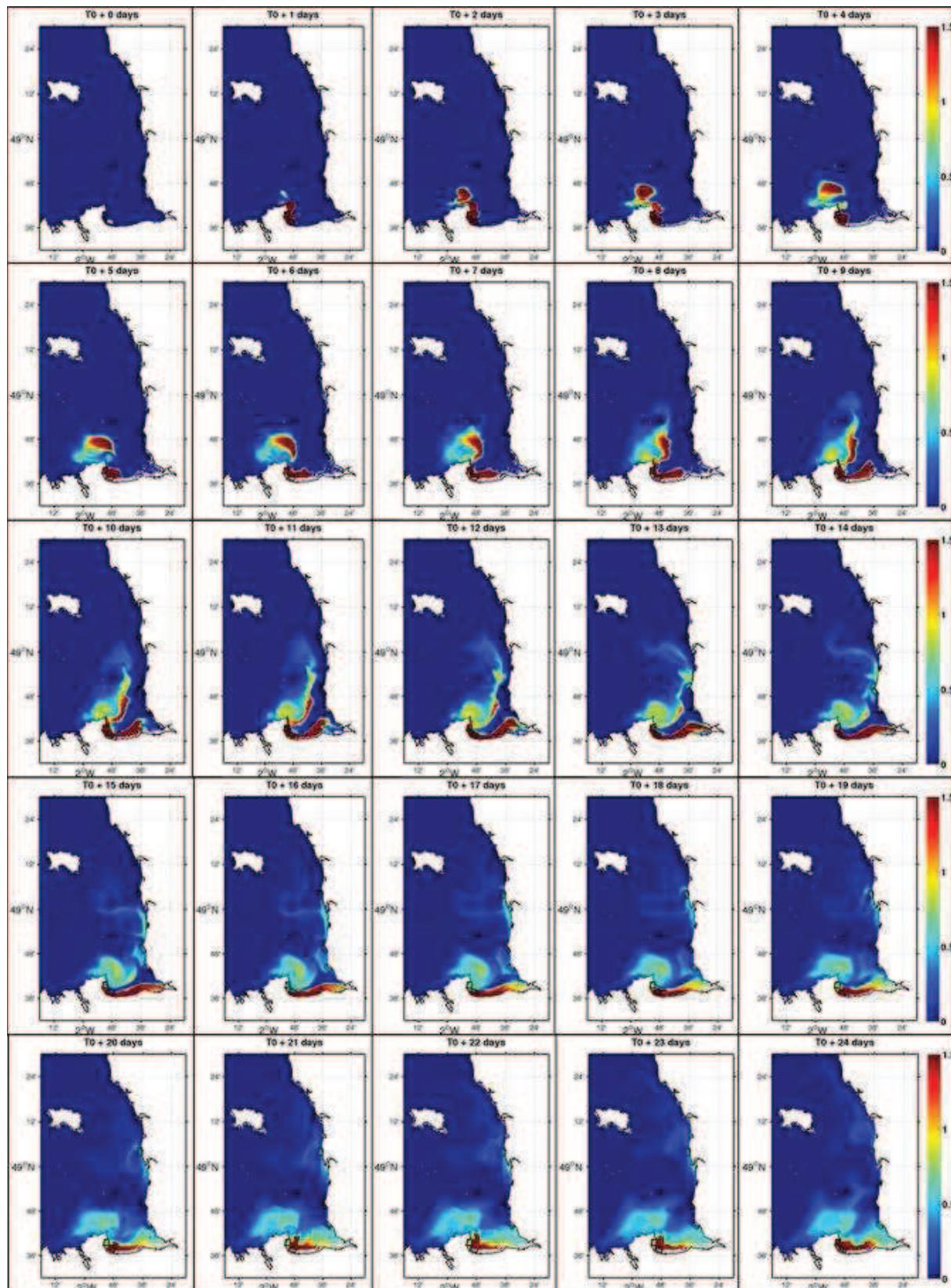
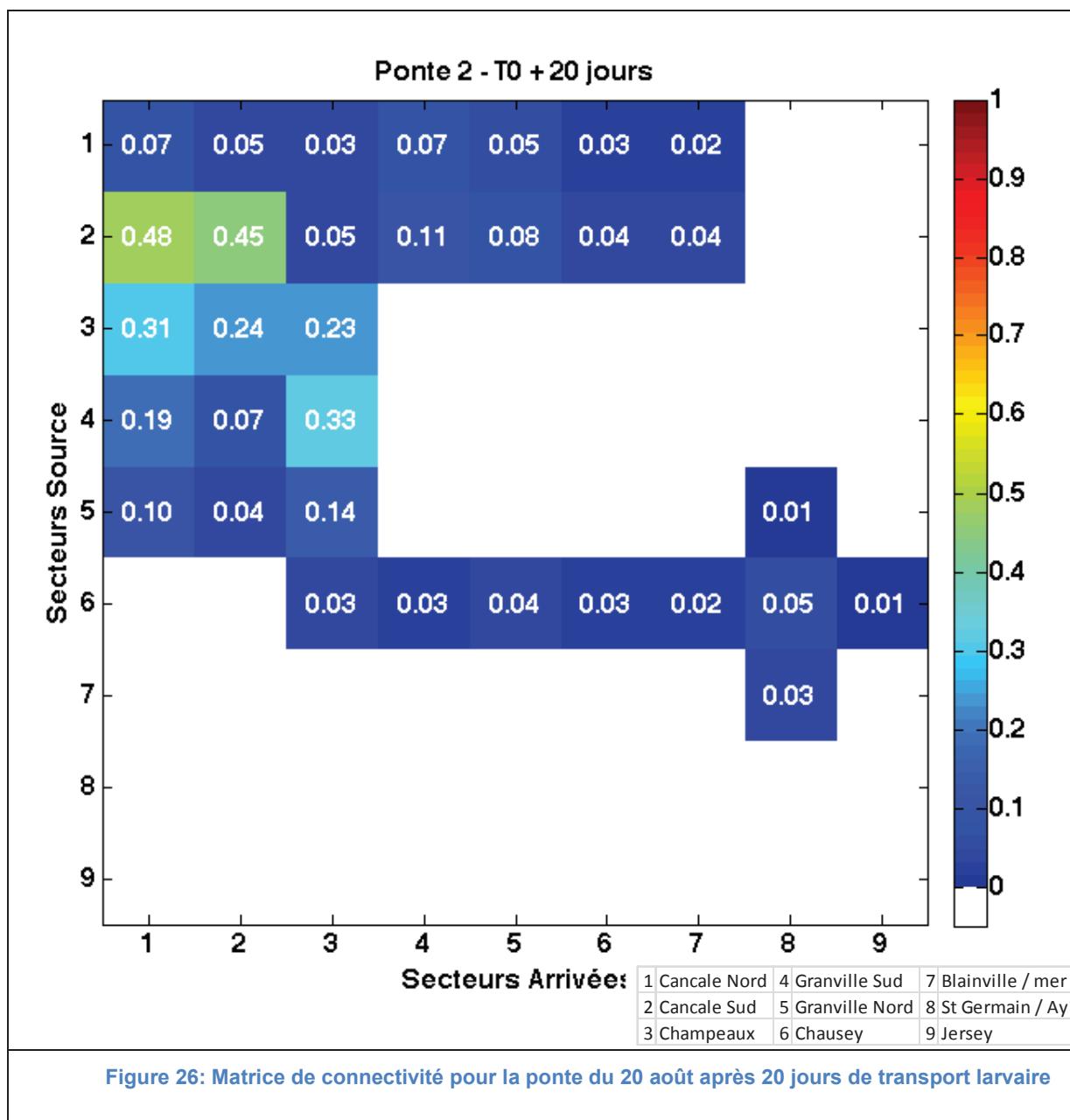


Figure 25: Simulation de la dispersion larvaire depuis une ponte à Blainville (20 août 2013) exprimée en concentration larvaire



La matrice de connectivité présentée en figure 26 présente l'état des connections inter et intra-secteurs, 20 jours après l'émission de larves. Comme pour la ponte du 25 juillet, les valeurs sont également faibles. Il semblerait qu'à cette date, la séquence météo a eu tendance à générer une structure rétentive à l'intérieur de la baie du Mont Saint Michel. Les meilleures connectivités sont réalisées entre les secteurs Cancalais et les secteurs Champeaux et Granville Sud tandis que les secteurs au Nord de Granville semblent faiblement connectés.



e) Résultats du suivi in-situ du recrutement (campagne Février 2014)

Dans le cadre du suivi du recrutement, plusieurs quadrats sont suivis sur Granville (7 points), Champeaux (3 points) et Saint Germain sur Ay (1 point) pour l'année 2014. En février 2014, une visite de ces stations a permis de faire le point sur l'intensité du recrutement de l'été 2013 sur la côte ouest du Cotentin (tableau 2). Sur les secteurs ayant présenté un recrutement important, une visite estivale a permis de vérifier l'état du recrutement et d'estimer la mortalité sur la première année.

Le tableau et les photos suivantes montrent un recrutement important sur la zone de Champeaux, dans la Baie du Mont Saint Michel. Sur cette zone, le recrutement est égal ou plus important que la densité observée avant le recrutement. Par contre, on voit nettement une absence de recrutement sur les autres zones explorées, tant à Granville qui affiche les densités les plus importantes qu'à Saint Germain Sur Ay au nord de la zone.

La visite estivale permet de vérifier que le naissain sauvage à Champeaux n'a pas subi de mortalités comme le naissain en élevage du golfe normand-breton : le suivi RESCO donne à cette même période un taux de mortalité de 51% à Cancale et 36% à Blainville sur Mer sur du naissain capté dans le bassin d'Arcachon durant l'été 2013, tout en ayant à l'esprit que les densités de naissains captés à Champeaux (de l'ordre de 50 ind/m²) sont très inférieures à celles de naissains d'élevage (minimum 5000 ind/m²).

	2013	2014	
		HIVER	ÉTÉ
GRANVILLE LE ROC	NB IND. DEPART	RECRUTEMENT (nb ind.)	
POINT 1	60	0	
POINT 2	68	0	
POINT 3	96	0	
POINT 4	68	0	
GRANVILLE PLAT GOUSSET			
POINT 5	99	0	
GRANVILLE LE BOSCO			
POINT 6	77	2	
POINT 7	92	3	
CHAMPEAUX			
POINT 8	35	43	40
POINT 9	21	75	70
POINT 10	15	11	17
ST GERMAIN SUR AY			
POINT 11	7	0	

Tableau 2 : Suivi des recrutements à Granville, Champeaux et Saint-Germain sur Ay (hiver 2013/2014 et été 2014)



Photo 1 : emplacement des quadrats de suivis de recrutement à Granville, Champeaux et Saint-Germain sur Ay

f) Résultats sur le suivi de la colonisation

La colonisation observée sur le terrain est exprimée par une mesure de la densité d'huîtres par m² :

colonisation mesurée (nbre huîtres/m²) = colonisation naturelle (recrutement – mortalité naturelle) – prélèvement (pêche à pied)

Elle est la résultante de la différence entre la colonisation naturelle (i.e. le recrutement naturel moins la mortalité naturelle) et le prélèvement par l'homme (pêche à pied).

La zone de Champeaux / Carolles a vu un recrutement important durant l'été 2013, avec des densités allant de 10 à 100 individus par mètre carré qui s'ajoute à la population déjà en place. Les prochains relevés de l'hiver 2014 - 2015 devront indiquer que cette zone accueille désormais une population d'une densité équivalente à celle observée sur Granville (environ 40 individus/m²) (cf. tableau 3).

LIEU	Huîtres vivantes / m ²				Total d'huîtres / m ²				Densité maximale observée			
	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
REVILLE									1			
BARFLEUR									1			
GATTEVILLE									1			
HERQUEMOULIN									1			
ECREHOUS										1		
PORTBAIL										0		
SURVILLE										1		
ST_GERMAIN	3.20		1.33		6.93		2.00		4		3	
TR01	3.20		1.33		6.93		2.00		4		3	Avenir
PIROU		0.39				1.85			3		3	
TR01		0.39				1.85			3		3	
GOUVILLE / MER										1		
BLAINVILLE	1.33				2.22				4			
TR01	1.33				2.22				4			
CHAUSEY											Avenir	
DONVILLE	8.42				10.00				4			
TR01	7.75				12.00				4			
TR02	2.15				2.69				4			
TR03	20.43				22.43				4			
ROC	29.00	36.43			30.47	39.71			5		5	
TR01	36.22				38.00				4			Avenir
TR02	20.88				22.00				5			Avenir
TR03		36.43				39.71			5			Avenir
BOSCOQ		28.92				29.92			4			
TR01		29.00				29.50			4			
TR02		28.75				30.75			4			
HACQUEVILLE									5			
TR01	1.40				2.25				3			Avenir
POINTS	62.75				62.75				5			Avenir
CAROLLES		5.41				7.35				4		
TR01		1.80				3.20				3		
TR02		8.00				11.67				4		
TR03		5.83				6.50				4		
CHAMPEAUX	3.33				4.53				4			
TR01	0.60				2.20				3			Avenir
TR02	1.40				1.80				3			Avenir
TR03	8.00				9.60				4			Avenir

Tableau 3: Récapitulatif des résultats de la colonisation entre les hivers 2011/2012 et 2014/2015 (en cours lors de la rédaction de ce rapport)



Certaines zones n'ont pas été investiguées mais le seront suite à différentes sources d'informations. Il s'agit de l'archipel de Chausey (informations fournies par les gardes littoraux du SyMEL), de la pointe d'Agon (observations effectuées par le SMEL dans le cadre du suivi de la colonisation des hermelles).

D'autres zones ont été prospectées récemment (automne 2014) comme les Ecrehous (réflexion commune menée sur les colonisations conjointes des huîtres et des hermelles) et la zone de Portbail / Surville (observation effectuée suite aux résultats de la simulation)



Discussion

A l'heure actuelle, la colonisation de l'huître *Crassostrea gigas* sur les côtes de la Manche se concentre essentiellement sur la côte ouest du Cotentin, dans un secteur délimité par Champeaux, au sud, et Saint Germain sur Ay, au nord. La zone la plus concernée en 2012 reste le secteur de Granville.

Le projet HLIN (Huîtres du Littoral Normand) initié en 2010 par le SMEL, a pour objectif de créer un réseau de suivi des populations naturelles d'huîtres sur les côtes du cotentin pour suivre cette population afin d'en apprécier sa répartition et, sur un plus long terme, son évolution. Un protocole de suivi et de recrutement a été testé et amélioré entre 2010 et 2013. Cependant, il a semblé nécessaire d'approfondir la connaissance sur ce sujet, notamment concernant l'origine des individus et les conditions requises pour un recrutement sur les côtes manchoises. Suite au programme DILEMES, le SMEL, l'IFREMER et l'Agence des aires Marines Protégées ont initié une étude sur la dispersion larvaire et la connectivité entre différents secteurs du golfe Normand Breton pendant l'été 2013 afin d'identifier les zones potentielles de développement des huîtres sauvages le long des côtes du Cotentin.

- Ponte : de nombreux paramètres de contrôle

Concernant cette période (été 2013), plusieurs paramètres ont été étudiés. Les huîtres en élevage dans cette zone sont suivies notamment par le réseau RESCO (IFREMER) grâce à deux stations, l'une à Cancale et l'autre à Blainville sur Mer. Parmi les paramètres suivis tous les 15 jours pendant l'été, la maturation des adultes fait l'objet d'une attention particulière. Or, pour 2013, il est constaté que les pontes étaient décalées d'un mois entre Cancale (fin juillet) et Blainville sur Mer (fin août), et ce malgré un profil thermique identique pour les deux stations. En se penchant sur les concentrations en chlorophylle a, donc en nourriture pour les huîtres, dans le golfe normand-breton, il est apparu que le printemps et l'été 2013 étaient des périodes déficitaires voire fortement déficitaires en phytoplancton. Mais, même s'il semble que ce soit moins le cas sur Blainville sur Mer qu'à Cancale, l'ensemble de ces éléments ne peuvent expliquer à eux seuls le décalage entre les pontes.

En revanche, la conséquence de ce décalage est primordiale pour la survie larvaire. En effet, pour les pontes de juillet, la température de l'eau reste supérieure à 19°C durant les trois semaines suivantes permettant théoriquement le bon développement jusqu'au moment de la fixation (Bernard, 2011). Pour les pontes d'août, le problème est différent car la température est descendue en dessous des 19°C dès le 09 septembre, soit seulement 15 jours après la ponte. De plus, la dernière semaine de vie larvaire est marquée par des vents soutenus de Nord à Nord-ouest (environ 20 à 25 nœuds). En conséquence, si les conditions semblent réunies pour une bonne survie larvaire pour la ponte à Cancale de juillet 2013, il ne semblerait pas en être de même pour la ponte d'août 2013 à Blainville sur Mer.

- Evaluer la dispersion pour mieux comprendre la dynamique de population.

La modélisation est un outil essentiel de compréhension et d'analyse du système de courantologie du golfe normand breton. Cependant, il restera un outil d'aide qui présente une réalité simplifiée d'écoulements et dépendant de sa résolution (donc de la taille de mailles). Afin d'améliorer le système, il faudrait réaliser encore un grand nombre de mesures pour affiner les paramètres physiques et numériques du modèle.



Par conséquent, l'amélioration du modèle NORM passe par la continuation des mesures effectuées *in situ*. Dans l'idéal, une série de lâchers de bouées pourrait être faite dans la période de ponte afin d'approcher la réalité d'un parcours larvaire (trajet, température, vent,...). Dans l'absolu, plusieurs paramètres pourraient être intégrés afin d'apprécier la ponte sur un plan quantitatif. Mais, pour cela, il faudrait avoir une idée de l'abondance larvaire ou du stock de géniteurs réellement présent par zone émettrice, puis connaître le taux de survie larvaire au cours de la dérive. Cependant, ces données recueillies dans d'autres bassins de production par le programme VELYGER semblent aujourd'hui plus difficile à mettre en œuvre dans le golfe normand breton, le captage étant encore beaucoup anecdotique en comparaison aux bassins de captage (densité larvaire nettement inférieure). Pour finir, le modèle pourrait s'améliorer s'il intégrait le comportement natatoire des larves, et donc relativiser l'influence du courant dans leur déplacement.

- Des zones potentielles de recrutement identifiées

Les résultats d'un recrutement estival ne peuvent s'observer que lors de l'hiver suivant. **En février 2014, il a été constaté un fort recrutement sur la zone de Champeaux – Carolles avec une densité de juvéniles autour de 30 à 50 individus par mètre carré. Alors que sur les autres zones surveillées par le réseau HLIN, aucun recrutement n'a été constaté, que ce soit sur Granville ou Saint Germain sur Ay.**

D'après les simulations réalisées avec le modèle NORM, préalablement calé par les trajectoires de bouées dérivantes enregistrées en septembre 2013, on constate pour la ponte de Cancale de fin juillet au bout de 24 jours :

- Une forte densité de larves dans la partie sud de la baie du Mont Saint Michel, entre Cancale et l'est de Cherueix
- Une dispersion vers Carolles mais avec une densité plus faible dans le reste de la baie et qui reste contenue jusqu'à la latitude de Carolles
- Une absence de larves au nord de Carolles

Ces simulations semblent concordantes avec les résultats de recrutement observés en février 2014 sur le terrain.

⇒ **Par conséquent, une connectivité entre Cancale (ponte) et Champeaux (recrutement et développement des larves) est donc fortement probable.**

Les résultats de la simulation de ponte à Blainville sur Mer fin août mettent quant à elles en évidence :

- Une dispersion en faible quantité au nord de Blainville sur Mer, entre Saint Germain sur Ay et Carteret.
- Tout le reste s'est dilué au large, entre Blainville sur Mer et Jersey.

Or, aucun recrutement n'a été observé à Saint Germain sur Ay en février 2014. Ceci peut être expliqué par une température défavorable au développement larvaire en fin de période. **Cependant, cette simulation démontre qu'un recrutement serait possible au nord de Saint Germain sur Ay suite à une ponte à Blainville sur Mer, lorsque les conditions seront réunies (température, courant, vent,...).** Le profil de l'estran (zone rocheuse abondante dans la zone de balancement des marées) pourrait permettre la fixation des larves et son développement possible puisqu'il s'agit également d'une zone d'élevage.

⇒ **Par conséquent, un point de suivi de recrutement devra être ajouté dans la zone de Portbail**

- Une colonisation variable dans le temps



Le suivi a permis de mettre en évidence un niveau de recrutement « fort » sur le site de Champeaux, proche des valeurs connues sur le site de Granville. Toutefois, les densités mesurées sont encore évidemment très loin des recrutements observés dans les zones de captage traditionnelles (Arcachon, Marennes Oléron,...). Pour les autres secteurs où il y a eu un recrutement ces dix dernières années (Granville, Saint Germain sur Ay), l'été 2013 n'a pas permis l'arrivée d'une nouvelle cohorte. **Ces observations confortent l'idée que la colonisation sur la côte de la Manche ne s'opère pas annuellement et qu'elle reste dépendante d'un certain nombre de facteurs tels qu'une bonne maturation des géniteurs, une ponte de qualité, des paramètres environnementaux nécessaires à la survie larvaire, une possibilité de fixation.** Par conséquent, il est impossible de qualifier l'année 2013 en termes de niveau de colonisation par rapport aux autres années puisqu'il n'existe aucune donnée sur les années antérieures. Il semblerait, en outre, qu'il ne s'agisse pas d'une année « classique » de captage puisqu'aucun recrutement n'a été observé sur des zones déjà colonisées et notamment sur Granville.

⇒ **Par conséquent, il est nécessaire de poursuivre le suivi de la colonisation**

- Des améliorations proposées pour le protocole de suivi

Cette étude va permettre d'améliorer le protocole de suivi à partir de l'hiver 2014 / 2015 qui peut désormais se résumer de la manière suivante :

⇒ **Un suivi du recrutement** : un suivi annuel sur 4 sites : (1) Carolles, (2) Granville le Roc, (3) Saint Germain / Ay et (4) Portbail, dont la modélisation a montré leur potentialité en terme de recrutement.

⇒ **Un suivi de la colonisation** :

4 sites seront suivis annuellement et seront les mêmes que pour le recrutement : (1) Carolles, (2) Granville le Roc, (3) Saint Germain / Ay et (4) Portbail. Il s'agit de sites sentinelles de la présence des huîtres sur le littoral.

❖ Plusieurs sites considérés d'intérêt seront suivis tous les 3 ans : les deux autres sites de Granville, la plage d'Hacqueville et le Boscq (sous l'avant-port), Champeaux, Donville Les Bains, Agon, Blainville sur Mer, Gouville sur Mer, Pirou, Surville, Herqueville, Barfleur, Chausey et Les Ecrehou. Cette liste pourra augmenter en fonction de l'évolution d'autres sites ou de la découverte de sites déjà colonisés.

❖ Une exploration sur des sites pas encore investigués.



LIEU	Hiver	Hiver	Hiver
	2014 / 2015	2015 / 2016	2016 / 2017
REVILLE			
BARFLEUR			
GATTEVILLE			
HERQUEMOULIN			
ECREHOUS			
PORTBAIL			
SURVILLE			
ST_GERMAIN			
PIROU			
GOUVILLE / MER			
BLAINVILLE			
AGON			
CHAUSEY			
DONVILLE			
ROC			
BOSCOQ			
HACQUEVILLE			
CAROLLES			
CHAMPEAUX			

Tableau 4 : Synthèse des suivis de la colonisation pour l'ensemble des sites du Cotentin (suivi annuel en bleu foncé / suivi tous les 3 ans en bleu clair)



Conclusion et Perspectives

Ce travail montre qu'un site peut évoluer très rapidement. Par exemple, la dynamique de population sur Champeaux, qui a considérablement évolué entre 2013 et 2014, démontre l'importance d'un suivi pérenne qui prend en compte son évolution annuelle. Ce suivi devra intégrer les différents facteurs influençant cette dynamique tels que les conditions environnementales (température de l'eau, phytoplancton,...) contribuant à la reproduction et du niveau de recrutement ou des conditions anthropiques pouvant être responsables d'une diminution drastique de cette population.

Il démontre également l'apport important de la modélisation hydrodynamique pour optimiser ce type de suivi et ainsi mieux cibler les recherches sur le terrain. Elle permet également de participer pleinement à la connaissance générale de la dispersion larvaire et son devenir dans le golfe normand breton et tester les futurs possibles à moyen ou à long terme comme dans le cadre d'une évolution climatique ou de nouvelles implantations aquacoles en mer ouverte. En outre, l'amélioration de nos connaissances sur les courants dans le golfe grâce à l'acquisition et injection dans le modèle des trajectoires des masses d'eau issues des bouées *in situ* sera un outil indispensable pour répondre demain à des enjeux d'aide à la planification et de gestion d'activités maritimes telles que la conchyliculture ou autre usages en mer (par ex. modélisation de la dispersion de polluants ou de micro-organismes en mer et estimation associée des risques potentiels pour les activités aquacoles ou de loisirs en mer).

De plus, la connaissance sur la connectivité entre certains secteurs du golfe normand breton peut être essentielle pour comprendre la dynamique de population et anticiper les évolutions futures. Les hermelles, dont les récifs sont d'intérêt communautaire et dont l'expansion ressemble beaucoup à celle des huîtres sauvages ou les coquilles Saint Jacques (suivi de semis en baie de Granville) sont autant d'exemples de sujets d'intérêt. Cependant, cela nécessitera l'amélioration des connaissances biologiques sur ces espèces (date de ponte, vie larvaire,...) associées aux conditions environnementales (courantologie, température, phytoplancton,...) au travers d'un observatoire et d'études scientifiques.

Suite aux conclusions de ce travail, il apparaît donc que les perspectives sont larges et qu'elles s'adressent à la fois au renforcement du réseau de suivi des huîtres sauvages, dimensionné aujourd'hui pour une veille minimale de la colonisation des huîtres sauvages sur la côte ouest du Cotentin, et à la modélisation hydrodynamique, qui bien qu'efficiente aujourd'hui, nécessitera demain des optimisations grâce au renforcement de la calibration *in-situ* de la circulation côtière (bouées dérivantes).

Concernant le réseau de suivi, ces perspectives sont :

- de poursuivre le suivi des points identifiés dans la présente étude. Inscrit dans son plan de charge, le SMEL assurera la prise en charge du suivi jusqu'en 2017 (1^{er} cycle) avec la perspective de recommencer un cycle de suivi de 2017 à 2020.
- de renforcer la surveillance en ajoutant, en lien avec les autorités Jersiaises compétentes, un point de suivi sur les Ecrehou et à Jersey qui sont deux secteurs non explorés mais qui, d'après les résultats du modèle NORM, sont touchés par la dispersion larvaire (ponte depuis Blainville sur mer) et donc potentiellement par le recrutement et colonisation en huîtres sauvages.

Concernant la modélisation hydrodynamique qui retrace la dispersion larvaire dans le golfe normand-breton, ces perspectives sont :

- de poursuivre en 2015 et 2016 les mesures effectuées *in situ* en réalisant des nouveaux lâchers de bouées depuis Cancale et Blainville-sur-mer lors des périodes



de ponte (et non plus décalé dans le temps) pour optimiser la modélisation des dispersions larvaires depuis ces 2 sites émetteurs.

- d'améliorer le modèle hydrodynamique en programmant de nouveaux lâchers de bouées à différents endroits du golfe et à des conditions météorologiques, saisonnières et de température-salinité bien constatées, dès 2016. Ainsi, il permettrait l'utilisation de l'outil modèle dans un cadre élargi à d'autres espèces ou thématiques de connaissances concernées par la connectivité entre les différents secteurs du golfe Normand Breton.



Bibliographie

- Ayata S-D, Ellien C., Dumas F., Dubois S., Thiébaut E., 2009. Modelling larval dispersal and settlement of the reef-building polychaete *Sabellaria alveolata* : Role of hydrodynamic processes on the sustainability of biogenic reefs. *Continental Shelf Research* 29, 1605-1623.
- Bernard Ismaël (2011). Ecologie de la reproduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, sur les côtes atlantiques françaises. Thèse de l'école doctorale Gay-Lussac. 196p
- Comps Michel, Duthoit Jean-Louis (1979). Virus infection in oysters *Crassostrea angulata* Lmk. and *Crassostrea gigas* Th. *Haliotis* (Société Française de Malacologie), 1979 , Vol. 8 , P. 301-307, <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/5922/>
- Fleury Elodie, Bédier Edouard, D'Amico Florence, Bouget Jean-François, Grizon James, Lamoureux Alice, Langlade Aimé, Lebrun, Lebrun Luc, Le Gall Patrick, Mary Charlotte, Mortreux Serge, Normand Julien, Palvadeau Hubert, Penot Julia, Pépin Jean-François, Pien Sébastien, Pouvreau Stéphane, Quéau Isabelle, Robert Stéphane, Seugnet Jean-Luc (2014). RESCO, Campagne 2013. RST/LER/MPL-2014-06. 91p.
- Frédéric Aline (2002). Evaluation du potentiel de production des gisements naturels de coquillages. Rapport DDASS / AESN / CRPBN. 166p.
- Gohin Francis (2011). Variation spatio-temporelle de la chlorophylle dans la sous-région marine Manche, Mer du Nord DCSMM/EI/MMN. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Ref. DCSMM/EI/EE/MMN/1.2.4/2011, 7p.
- Grizel Henry, Héral Maurice (1991). Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 47 : 399-403
- Hily Christian (2008). Prolifération de l'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* sur les côtes Manche Atlantique françaises : bilan, dynamique, conséquence écologiques, économiques et éthologiques, expérience et scénarios de gestion. Programme PROGIG
- Le Gendre Romain, Morin Jocelyne, Maheux Frank, Fournier Florent, Simon Benjamin, Cochard Marie-Laure, Pierre-Duplessix Olivier, Dumas Franck, Harmel Béatrice, Paul Catherine, Riou Philippe (2014). DILEMES - Dispersion Larvaire de *Mytilus Edulis* en baie de Seine. Rapport final. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00188/29916/>
- Lejart Morgane (2009). Etude du processus invasif de *Crassostrea gigas* en Bretagne : Etat des lieux, dynamique et conséquences écologiques. Th. Doct. : université de Bretagne Occidentale, Brest. 202 p
- Gohin F., Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ coastal waters. 2011. *Ocean Sciences*, 7, 705-732.
- Paris C.B, Cherubin L.M, Cowen R.K, 2007. Surfing, spinning, or diving from reef to reef: effects on population connectivity. *Marine Ecology-Progress Series* 347, 285–300.
- Pien Sébastien, Dumont Morgane (2011). HLN - Suivi de la colonisation et du recrutement des huîtres sauvages sur le littoral normand. Point sur la colonisation et mise en oeuvre du programme HLN. Rapport SMEL. 22p.
- Pien Sébastien, Maheux Franck, Gauquelin Thibaut, Le Gendre Romain (2013). HLN - Suivi de la colonisation et du recrutement des huîtres sauvages sur le littoral normand. Etat des travaux 2011 - 2013. Rapport SMEL. 27p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00191/30258/>



Liste des figures, tableaux et photos

Figure 1 : Colonisation de l'estran sur Granville (Manche) (cf. figure 3, p. 10)	2
Figure 2: Localisation des stations de suivi RESCO	4
Figure 3: Synthèse du suivi de la colonisation des sites de peuplement d'huîtres férales en 2013 et les points RESCO de la zone.	7
Figure 4 : (a) Bouée dérivante à ancre flottante, (b) Bouée dérivante à ancre flottante	9
Figure 5: Emprise du modèle NORM	10
Figure 6: Carte bathymétrique de la zone d'étude et localisation des 9 secteurs définis	11
Figure 7 : Evolution moyenne mensuelle de la température de surface durant la période 1998-2013 (unité degré Celsius)	14
Figure 8: Anomalies mensuelles de température de surface en 2013 (unité degré Celsius)	15
Figure 9: Température de l'eau à Blainville sur Mer	16
Figure 10: Concentrations moyennes mensuelles en Chl a (moyenne 1998-2013) ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17
Figure 11: Anomalies mensuelles de Chl a en 2013	18
Figure 12: roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre (moyenne des vents en noeuds entre 1998 et 2013) et roses des vents des mois de Juillet, Août et Septembre de l'été 2013.	19
Figure 13: Evolution de l'indice moyen de chair, de la température de l'eau et périodes de pontes de chaque station.	20
Figure 14: Carte des 6 points de lâcher de bouées du 12/09/2013	22
Figure 15 : Séquence de vent du 12 au 23 septembre 2013	23
Figure 16 : trajectoires des bouées du 12 septembre 2013	24
Figure 17 : Séquence de vent du 24 au 30 Septembre 2013	25
Figure 18: Carte des 5 points de lâcher de bouées du 24/09/2013	26
Figure 19: trajectoires des bouées du 24 septembre 2013	27
Figure 20: à gauche, comparaison bouées modèle sur le point de lâcher LERN-0003 ; à droite comparaison bouées modèle sur le point LERN-0006	28
Figure 21: Séquence de vent entre Cancale et Chausey du 25 juillet 2013 au 20 août, suite à la ponte de Cancale du 25 juillet 2013	29
Figure 22 : Simulation de la dispersion des larves depuis une ponte à Cancale (25 juillet 2013) exprimée en concentration larvaire.	31
Figure 23: Matrice de connectivité pour la ponte du 25 juillet après 25 jours de transport larvaire	32
Figure 24 : Séquence de vent à Blainville du 20 août au 15 septembre 2013, suite à la ponte de Cancale du 20 août 2013	33
Figure 25: Simulation de la dispersion larvaire depuis une ponte à Blainville (20 août 2013) exprimée en concentration larvaire	34
Figure 26: Matrice de connectivité pour la ponte du 20 août après 20 jours de transport larvaire	35
Tableau 1 : Types d'activités conchyliocoles des 9 zones définies de simulation des pontes	12
Tableau 2 : Suivi des recrutements à Granville, Champeaux et Saint-Germain sur Ay (hiver 2013/2014 et été 2014)	36
Tableau 3: Récapitulatif des résultats de la colonisation entre les hivers 2011/2012 et 2014/2015 (en cours lors de la rédaction de ce rapport)	38
Tableau 4 : Synthèse des suivis de la colonisation pour l'ensemble des sites du Cotentin (suivi annuel en bleu foncé / suivi tous les 3 ans en bleu clair)	43
Photo 1 : emplacement des quadrats de suivis de recrutement à Granville, Champeaux et Saint-Germain sur Ay	37



Annexes

Annexe 1 : autorisation de largage des bouées iridium

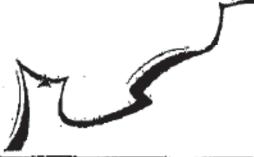
02/09/2013 11:37 0233925926

PREFECTURE MARITIME

PAGE 0/1/2



PRÉFET MARITIME DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

		PREMAR MANCHE 50115 CHERBOURG-OCTEVILLE CEDEX
TÉLÉCOPIE		
ORIGINE	EVI Sylvain Traversa <i>Division « action de l'Etat en mer »</i>	
		Fax : 02.33.92.52.52 Fax : 02.33.92.59.26
DESTINATAIRE	IFREMER <i>A l'attention de M. Franck Maheux et M. Philippe Riou</i>	
		Fax : 02.31.51.56.01
COPIES	CROSS Jobourg DML Manche SHOM OPL/COM – OPL/INFONAUT AEM/SOUM/CTX – SEC/AEM	
		Fax : 02.33.52.71.72 Fax : 02.33.23.36.06 Fax : 02.98.22.08.99 Fax : 26.077
<input type="checkbox"/> CD <input type="checkbox"/> DR <input checked="" type="checkbox"/> NP		Nombres de pages : (y compris celle-ci) 2
Cherbourg, le 08 août 2013		N° 60 PREMAR MANCHE/AEM/NP
OBJET : mission scientifique IFREMER.		
RÉFÉRENCE : courriel du 14 juin 2013.		
<p>J'accuse réception de votre demande de mission scientifique de lâchers de bouées dérivantes le long des côtes ouest du département de la Manche.</p> <p>Sous réserve de se conformer aux règles de navigation en vigueur et aux dispositions réglementaires en matière d'armement du navire et d'embarquement des passagers, j'autorise les navires « <i>Parce que</i> », « <i>Helcyon II</i> », « <i>Hydrophone</i> » et « <i>Delphy</i> », à débuter cette campagne de recherche scientifique du 10 septembre 2013, 00h00 (heure locale) jusqu'au 31 décembre 2013, 00h00 (heure locale) pour la zone de compétence relevant du préfet maritime de la Manche et de la mer du Nord.</p> <p>Un préavis de 24 heures ouvrables avant le début des déposés devra parvenir aux adresses suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au Secrétariat de la division « action de l'Etat en mer » Fax : 02.33.92.59.26 mél : sec.aem@premar-manche.gouv.fr - au Centre des Opérations Maritimes de Cherbourg Fax : 02.33.92.60.77 mél : com_cherbourg@marine.defense.gouv.fr - ainsi qu'au CROSS Jobourg Fax : 02.33.52.71.72 mél : jobourg@mrcfr.eu 		

1/2



02/09/2013 11:37 0233925926

PREFECTURE MARITIME

Une fois les opérations engagées, les commandants des navires précités devront signaler le début et la fin de ses opérations aux mêmes adresses. Il en sera de même pour l'opération de retraitement des bouées à la fin de votre campagne d'étude.

Toute modification ou annulation des opérations devra être signalée à la préfecture maritime de la Manche et de la mer du Nord.

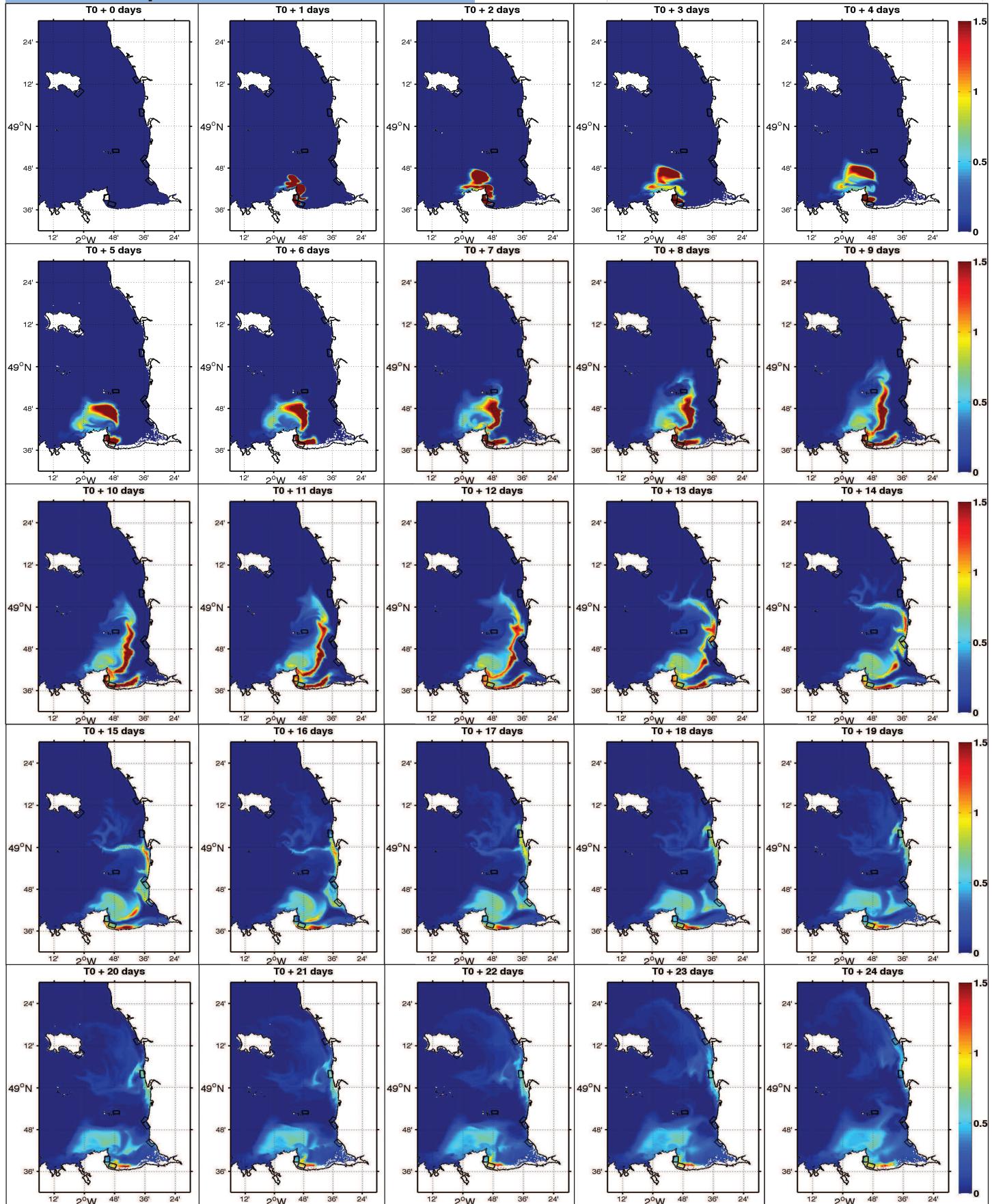
Le préfet maritime de la Manche et de la mer du Nord,
par délégation, le commissaire en chef de 2^{me} classe Jérôme Theillier
chef de la division « action de l'Etat en mer »,



Annexe 2 : Fiches de simulation de dérives larvaires à partir du modèle NORM.

Les fiches suivantes présentent les simulations de ponte effectuées sur chacun des 9 sites choisis sur les 2 dates de ponte, soit 18 simulations.

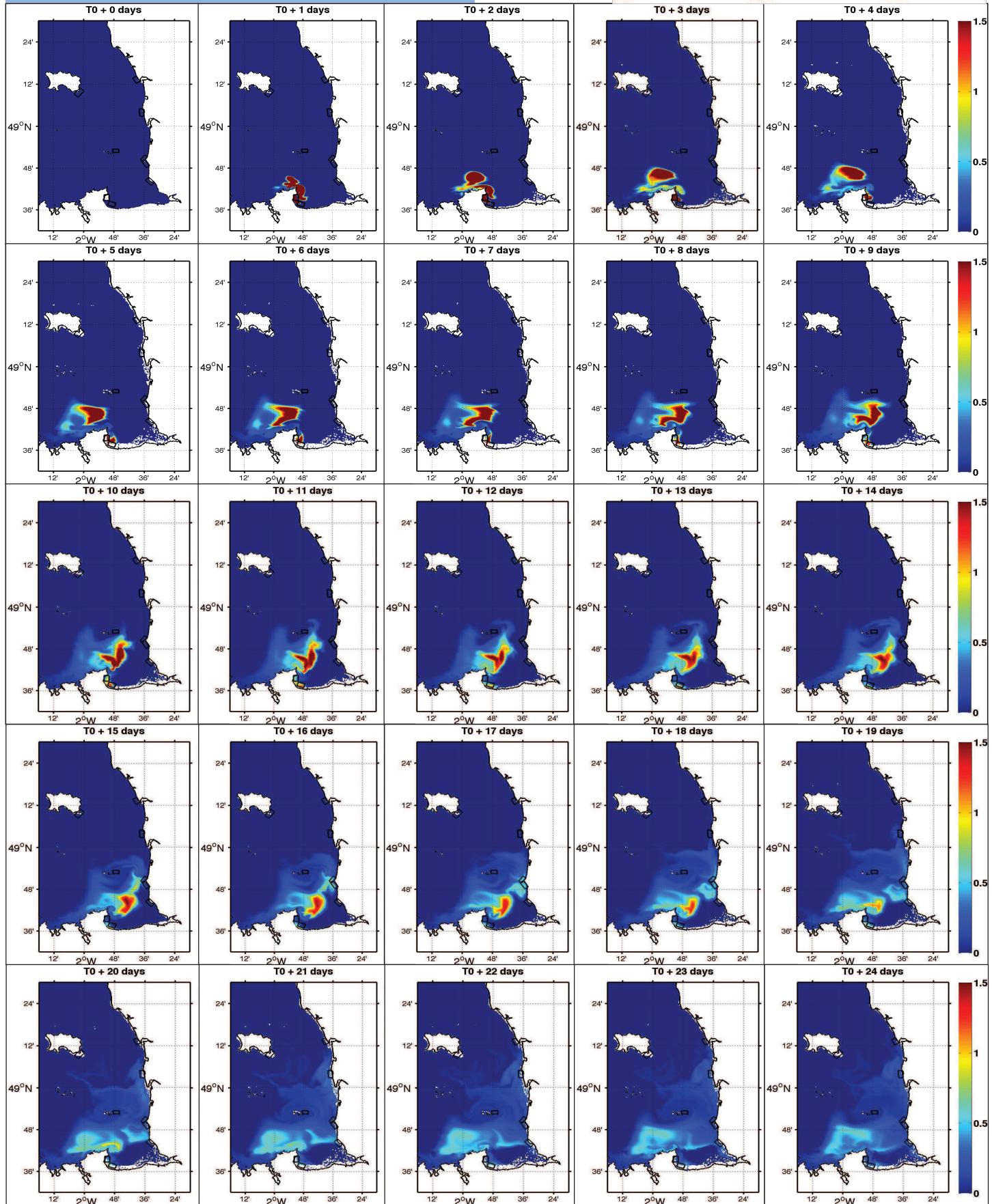
Origine de la ponte
Cancale Nord
Date d'émission
25 juillet 2013



Origine de la ponte
Cancale Nord

Date d'émission

25 août 2013

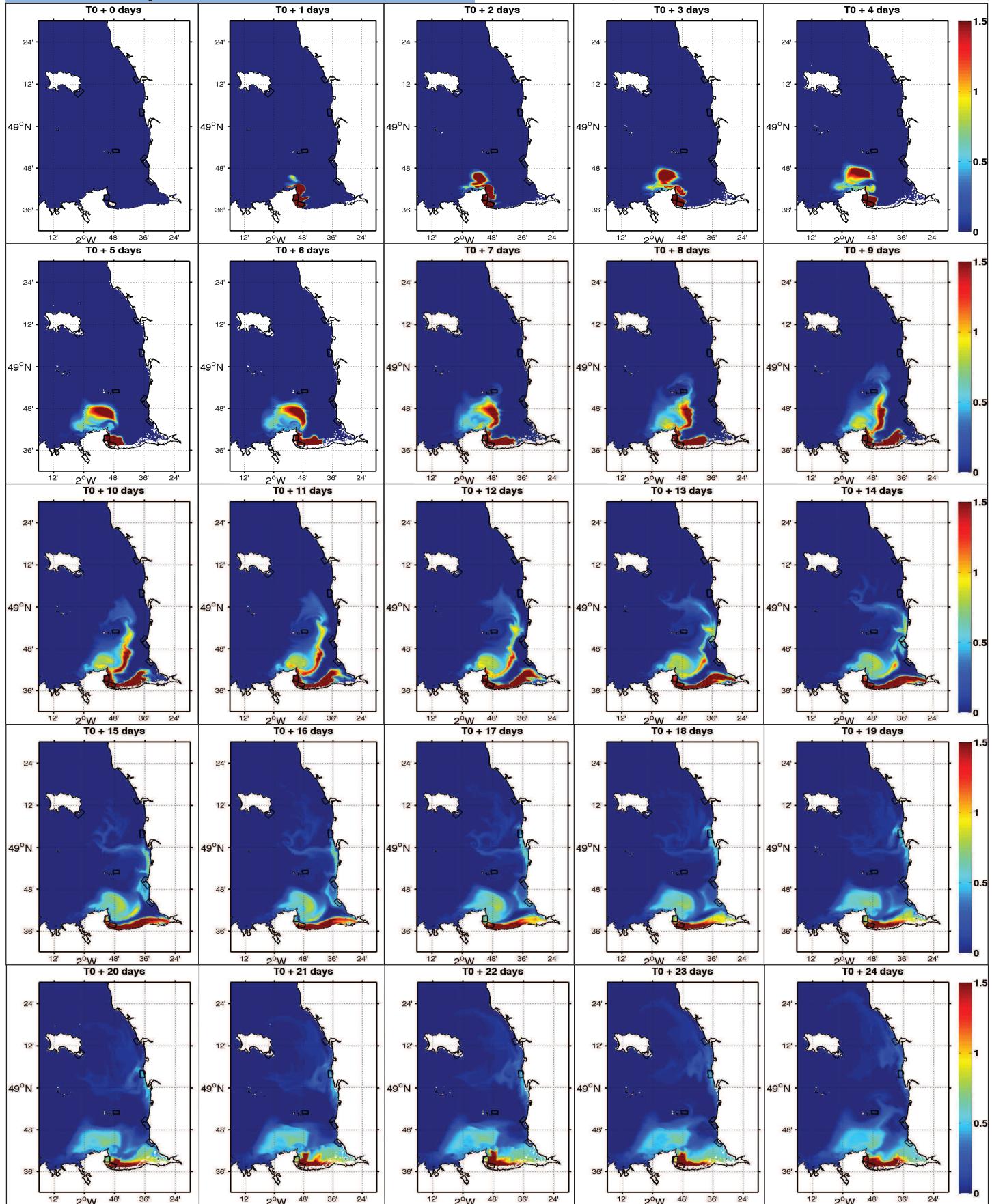


Origine de la ponte

Cancale Sud

Date d'émission

25 juillet 2013

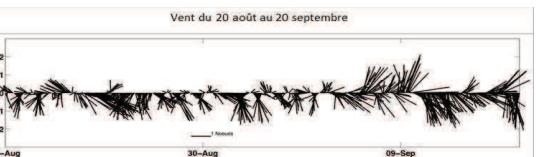
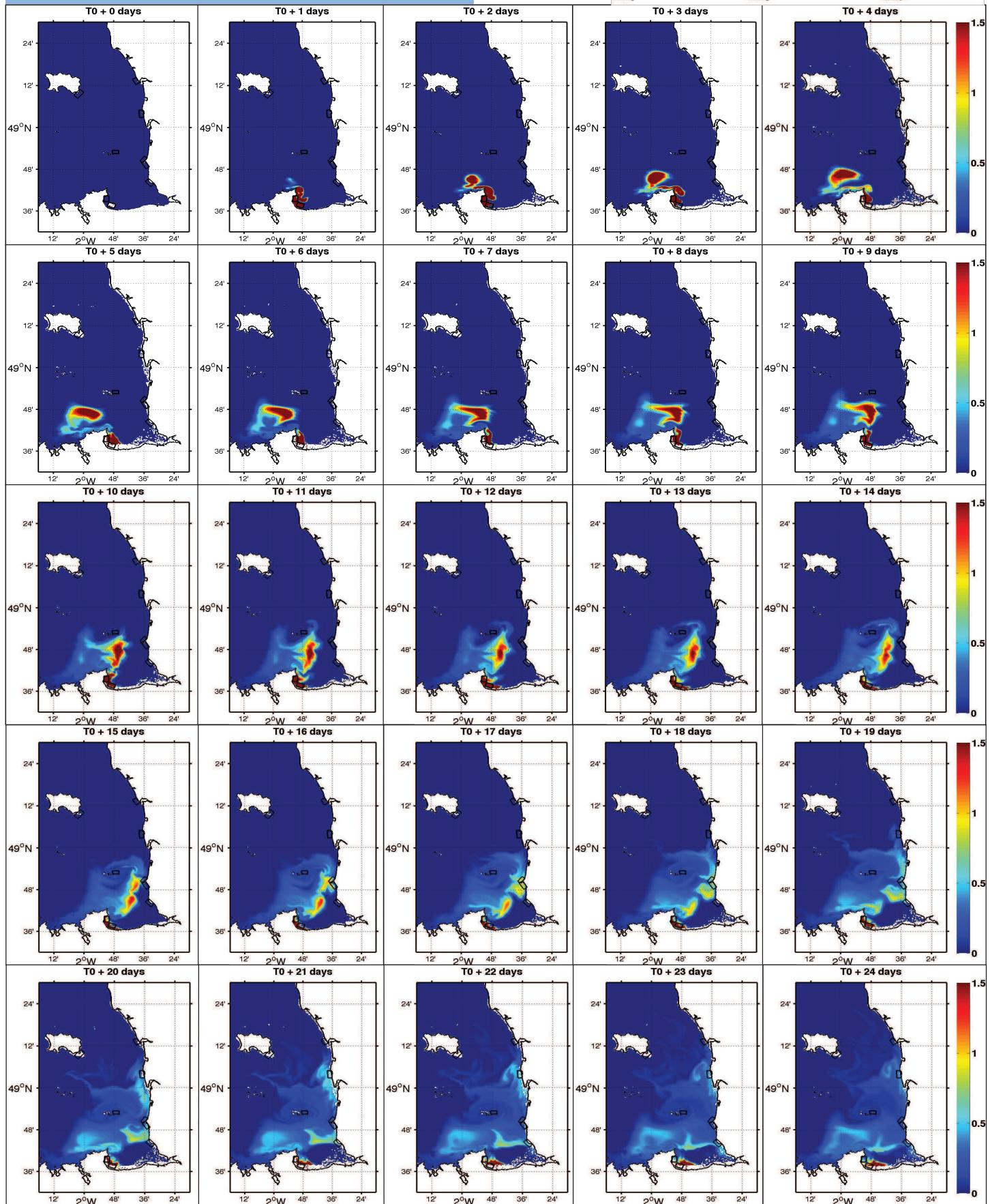


Origine de la ponte

Cancale Sud

Date d'émission

25 août 2013

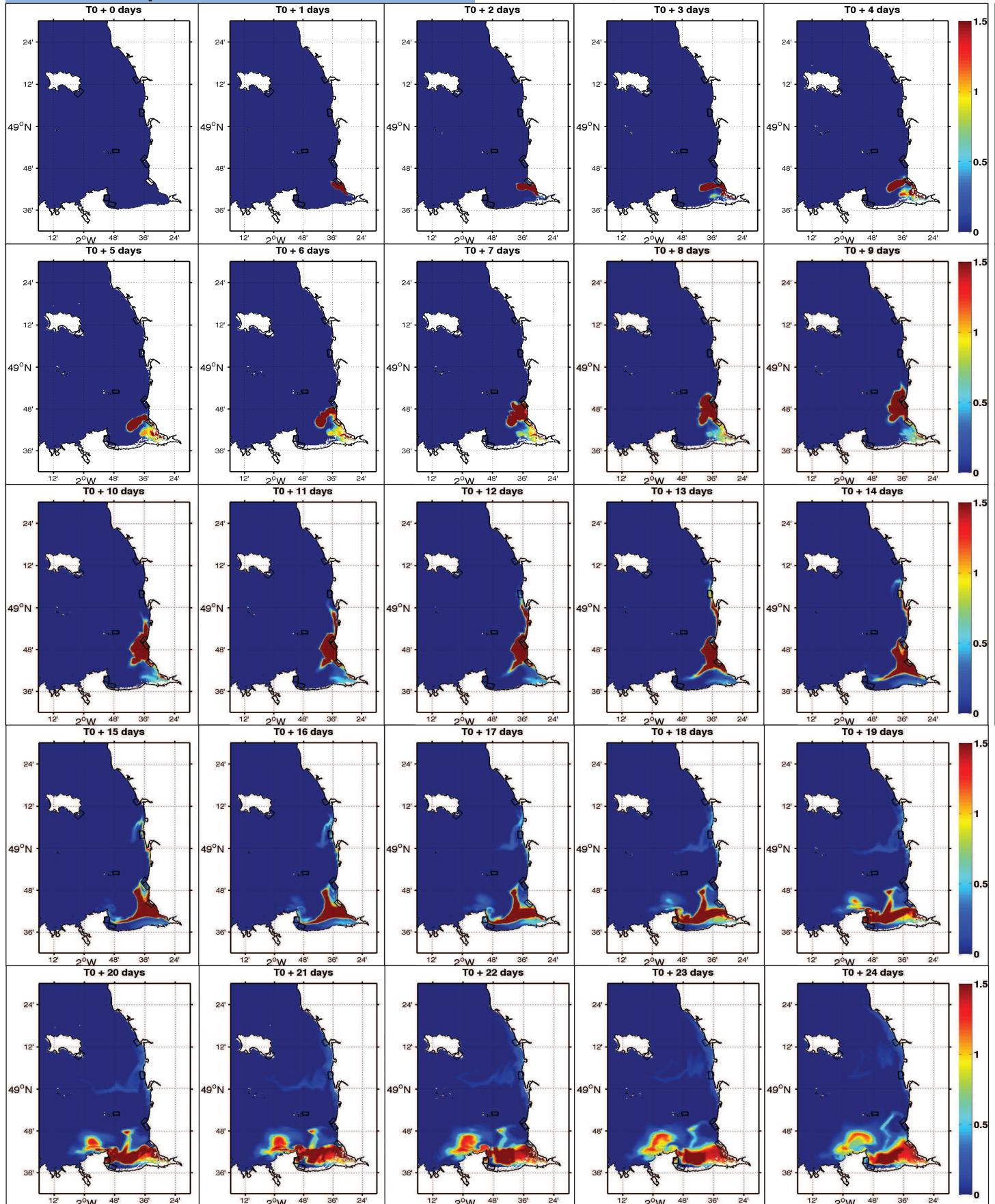


Origine de la ponte

Champeaux

Date d'émission

25 juillet 2013

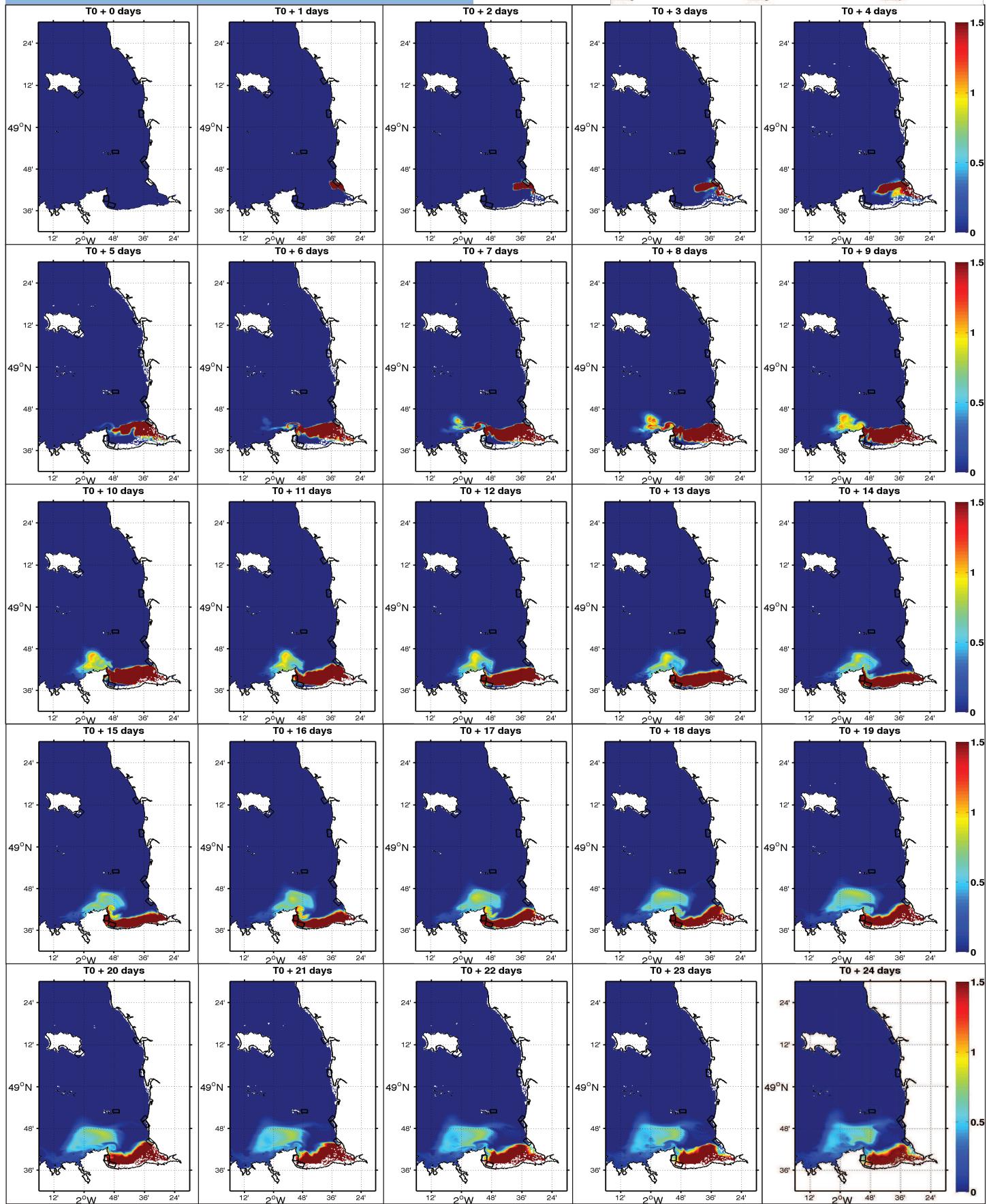


Origine de la ponte

Champeaux

Date d'émission

25 août 2013

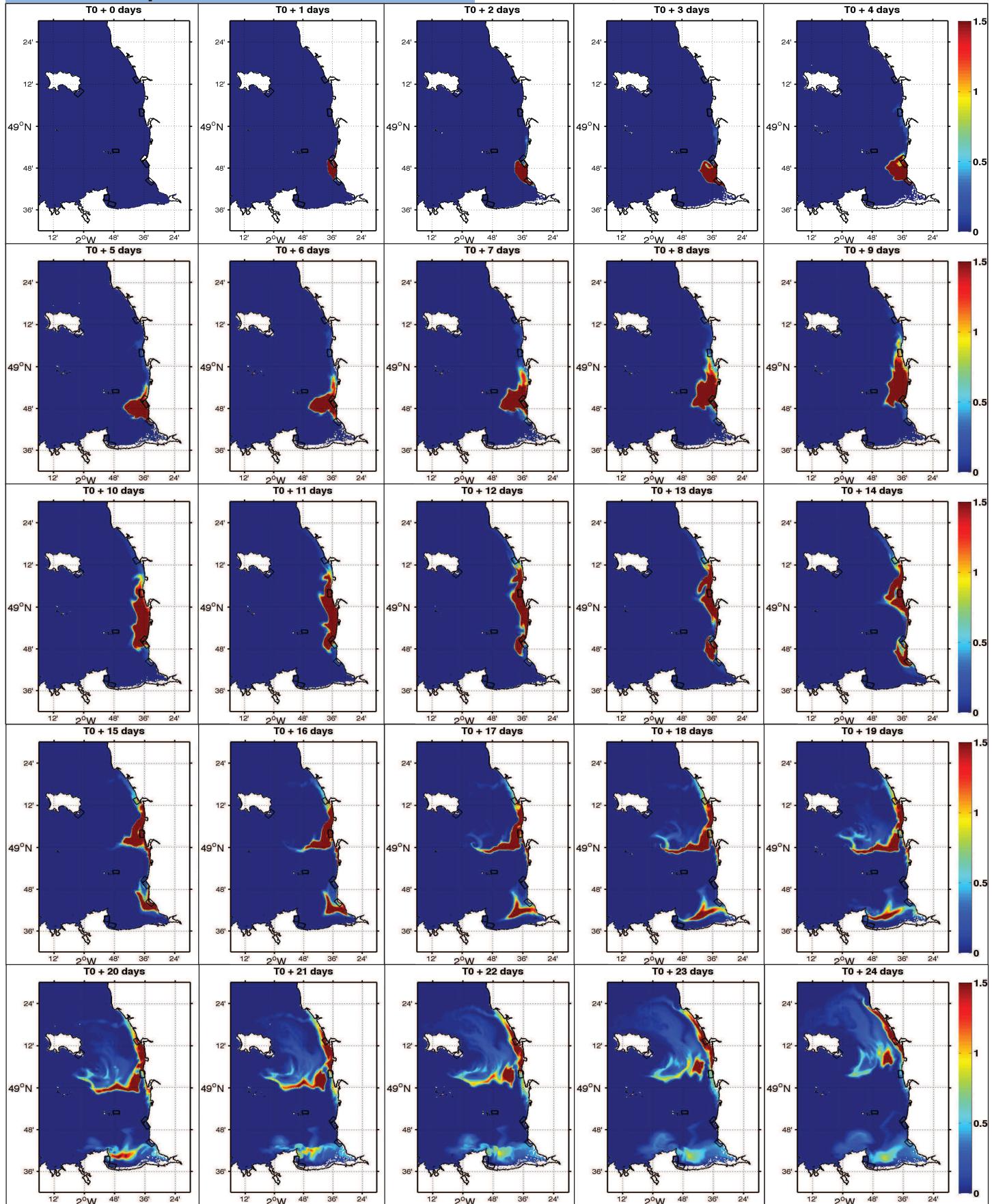


Origine de la ponte

Granville Nord

Date d'émission

25 juillet 2013

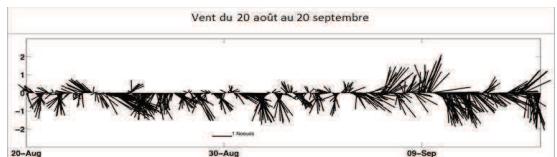
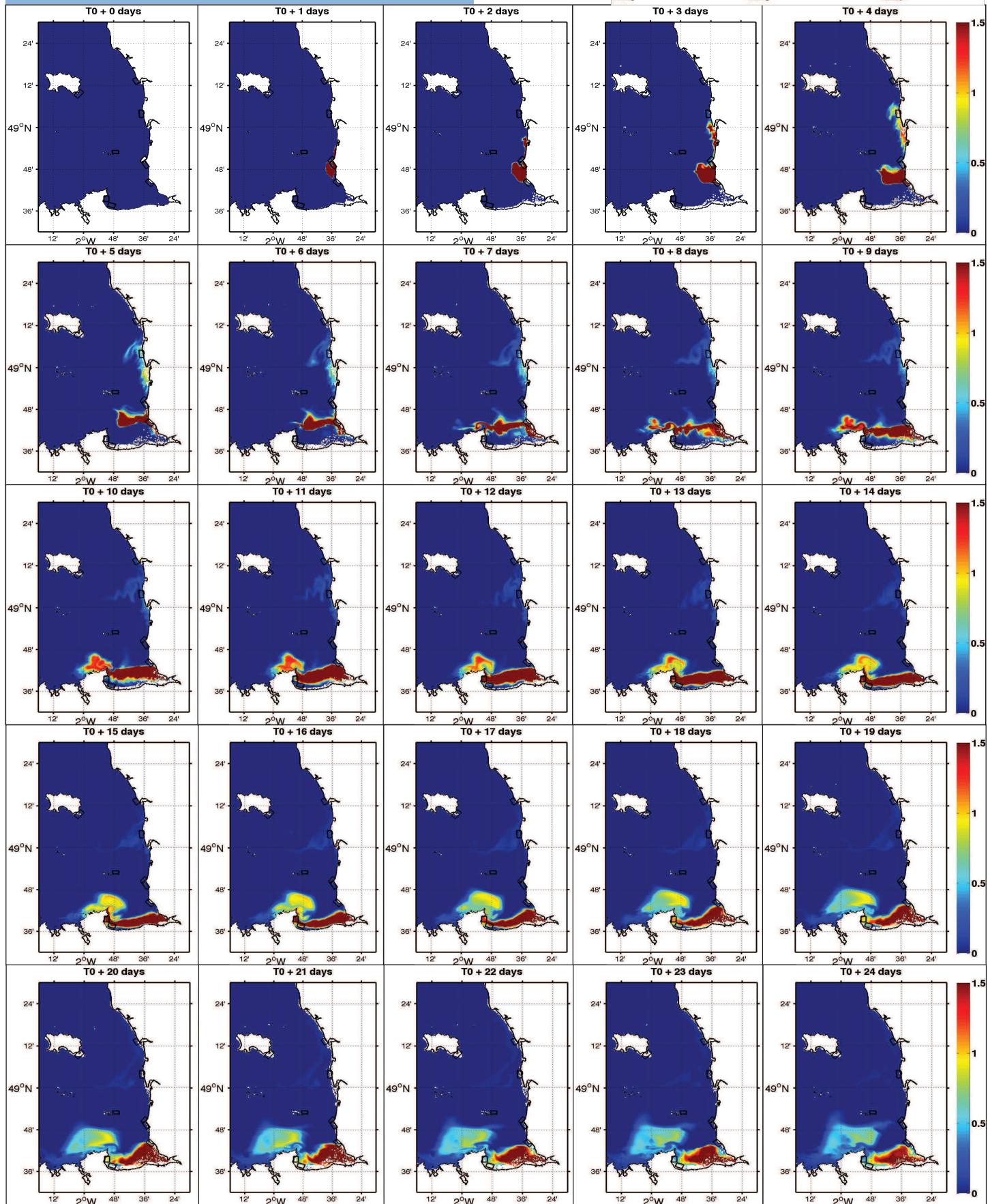


Origine de la ponte

Granville Nord

Date d'émission

25 août 2013

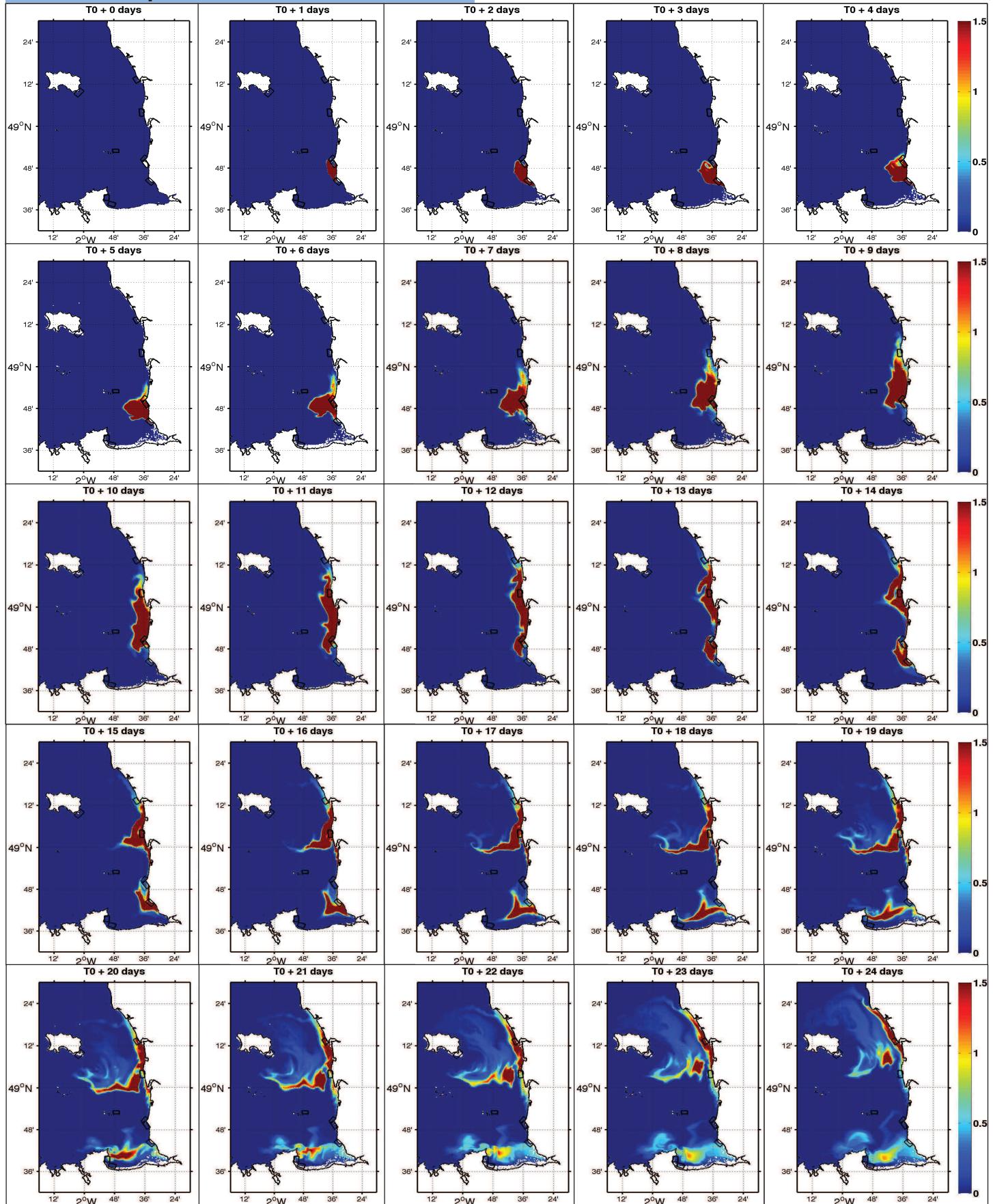


Origine de la ponte

Granville Sud

Date d'émission

25 juillet 2013

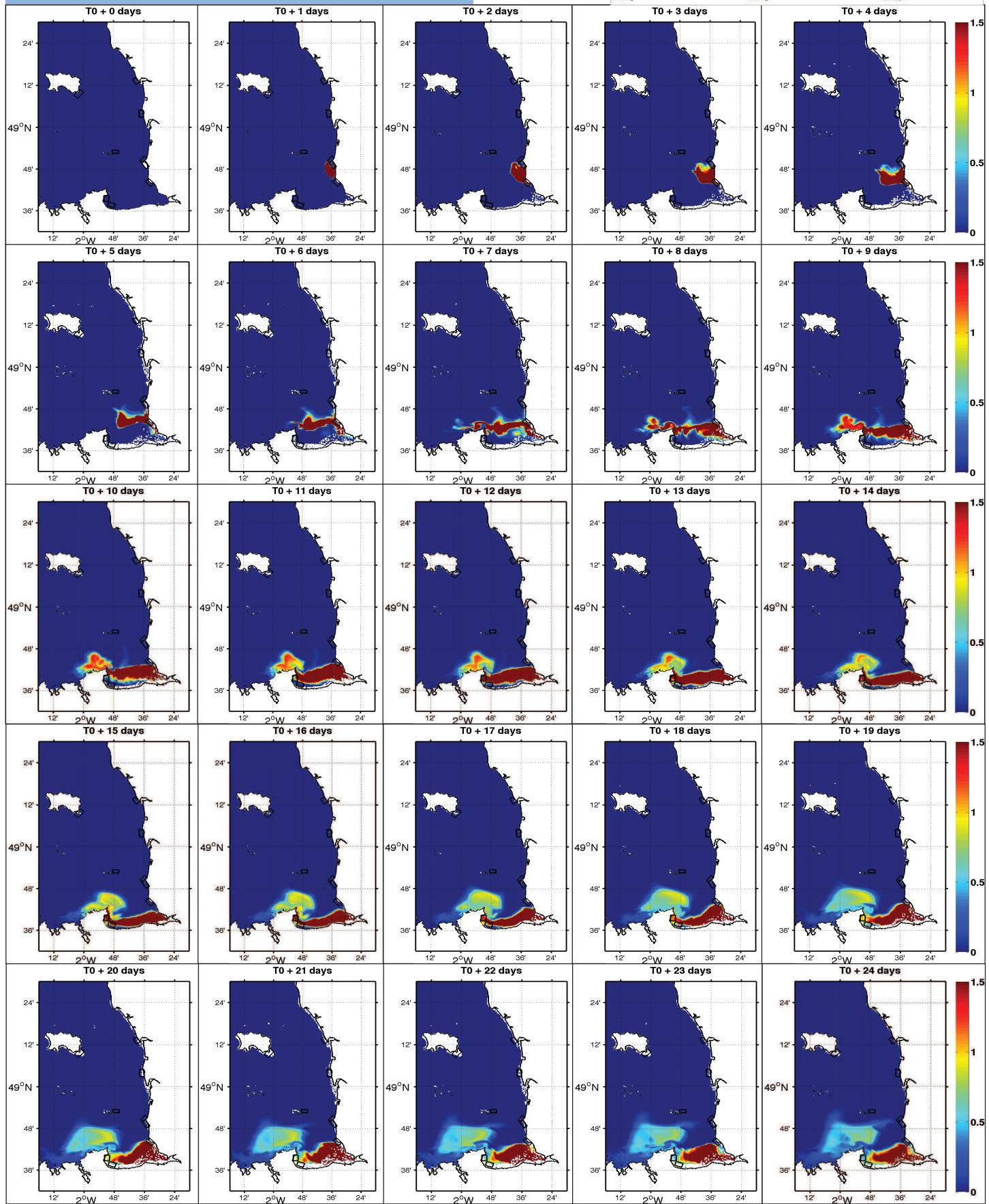
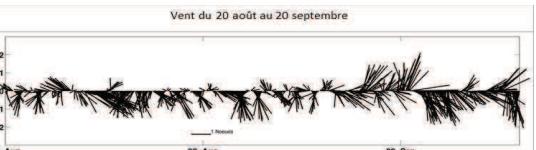


Origine de la ponte

Granville Sud

Date d'émission

25 août 2013

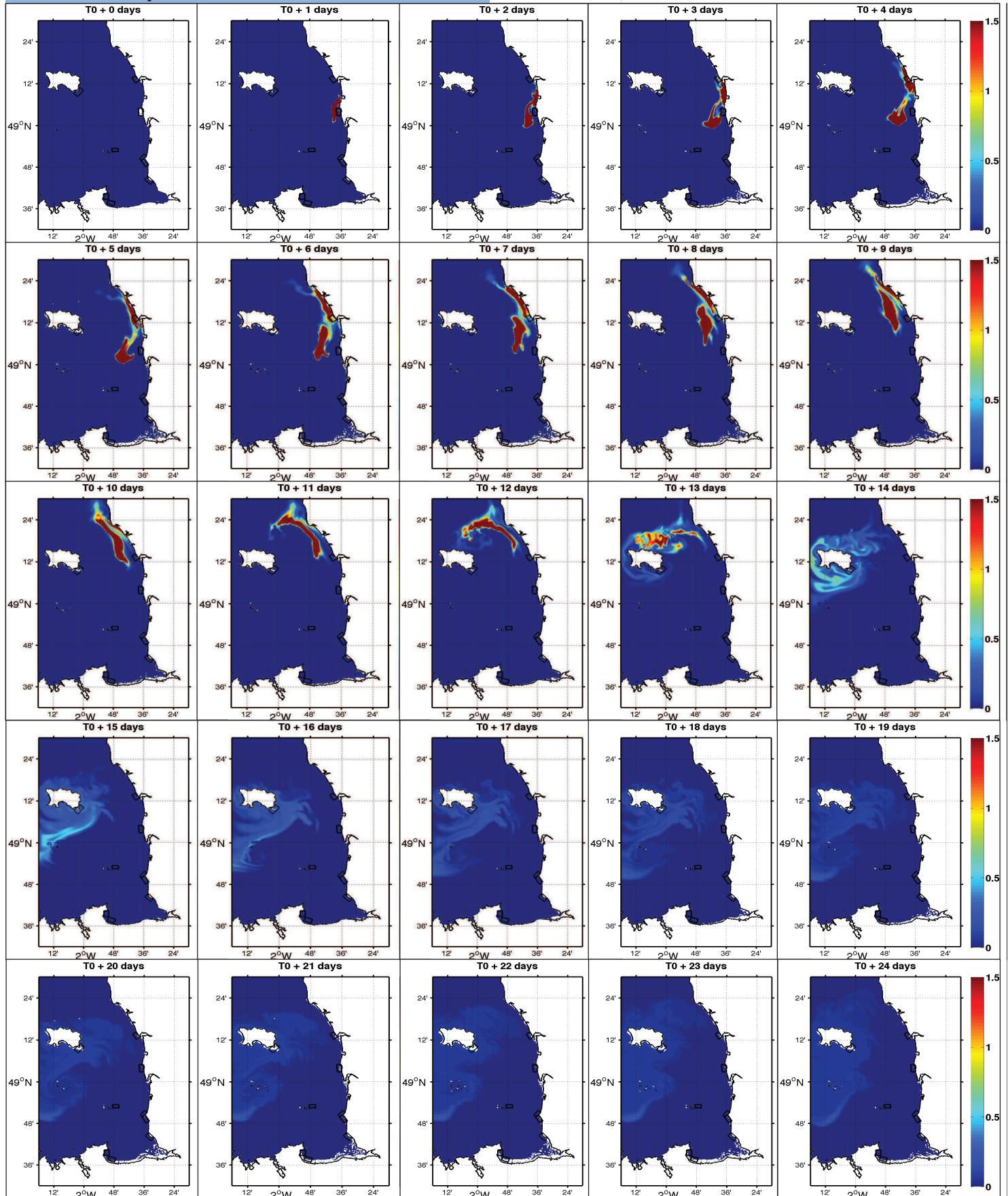


Origine de la ponte

Blainville / Mer

Date d'émission

25 juillet 2013



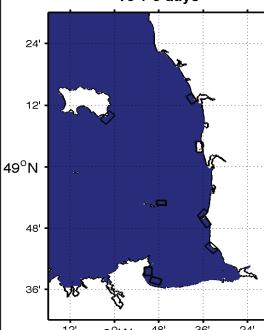
Origine de la ponte

Blainville / Mer

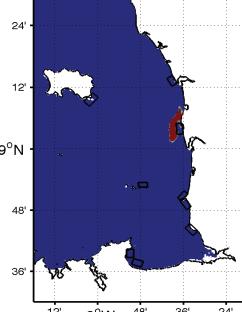
Date d'émission

25 août 2013

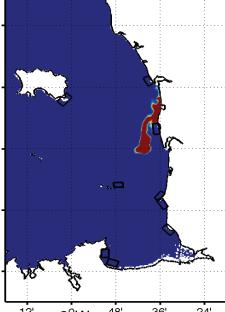
T0 + 0 days



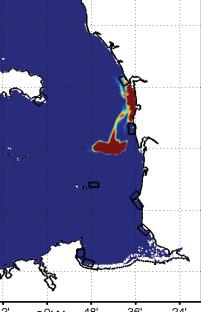
T0 + 1 days



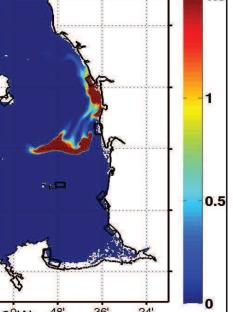
T0 + 2 days



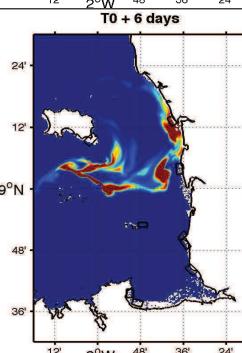
T0 + 3 days



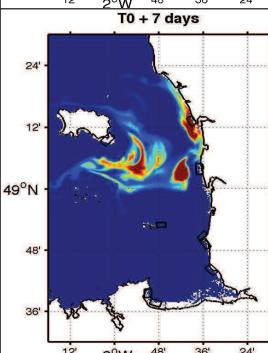
T0 + 4 days



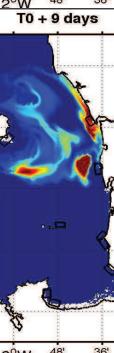
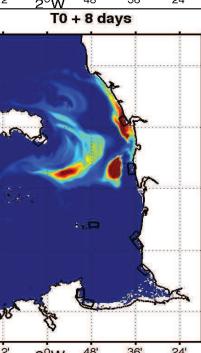
T0 + 5 days



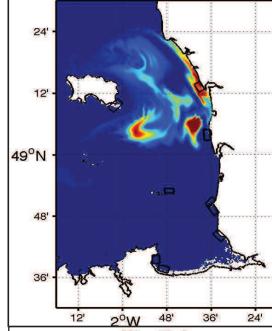
T0 + 6 days



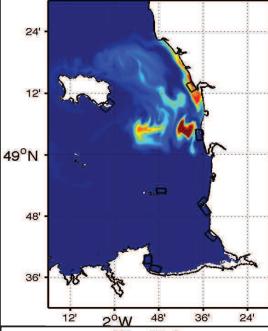
T0 + 7 days



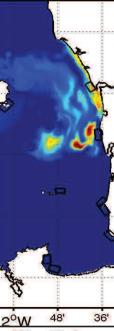
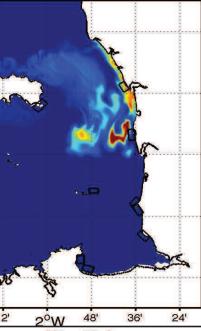
T0 + 8 days



T0 + 9 days



T0 + 10 days



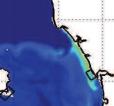
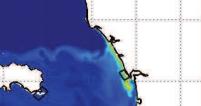
T0 + 11 days

T0 + 12 days

T0 + 13 days

T0 + 14 days

T0 + 15 days



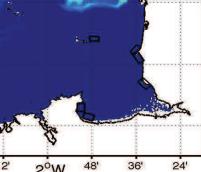
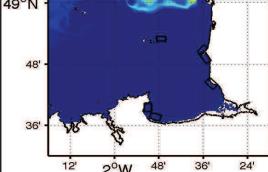
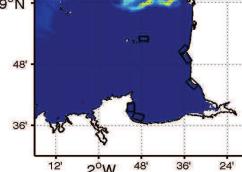
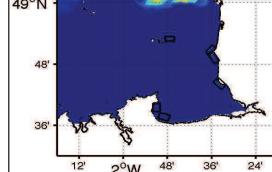
T0 + 16 days

T0 + 17 days

T0 + 18 days

T0 + 19 days

T0 + 20 days

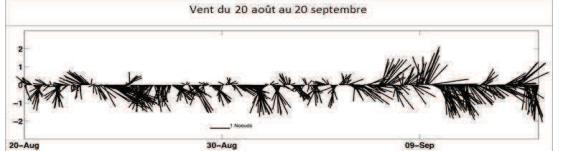


T0 + 21 days

T0 + 22 days

T0 + 23 days

T0 + 24 days



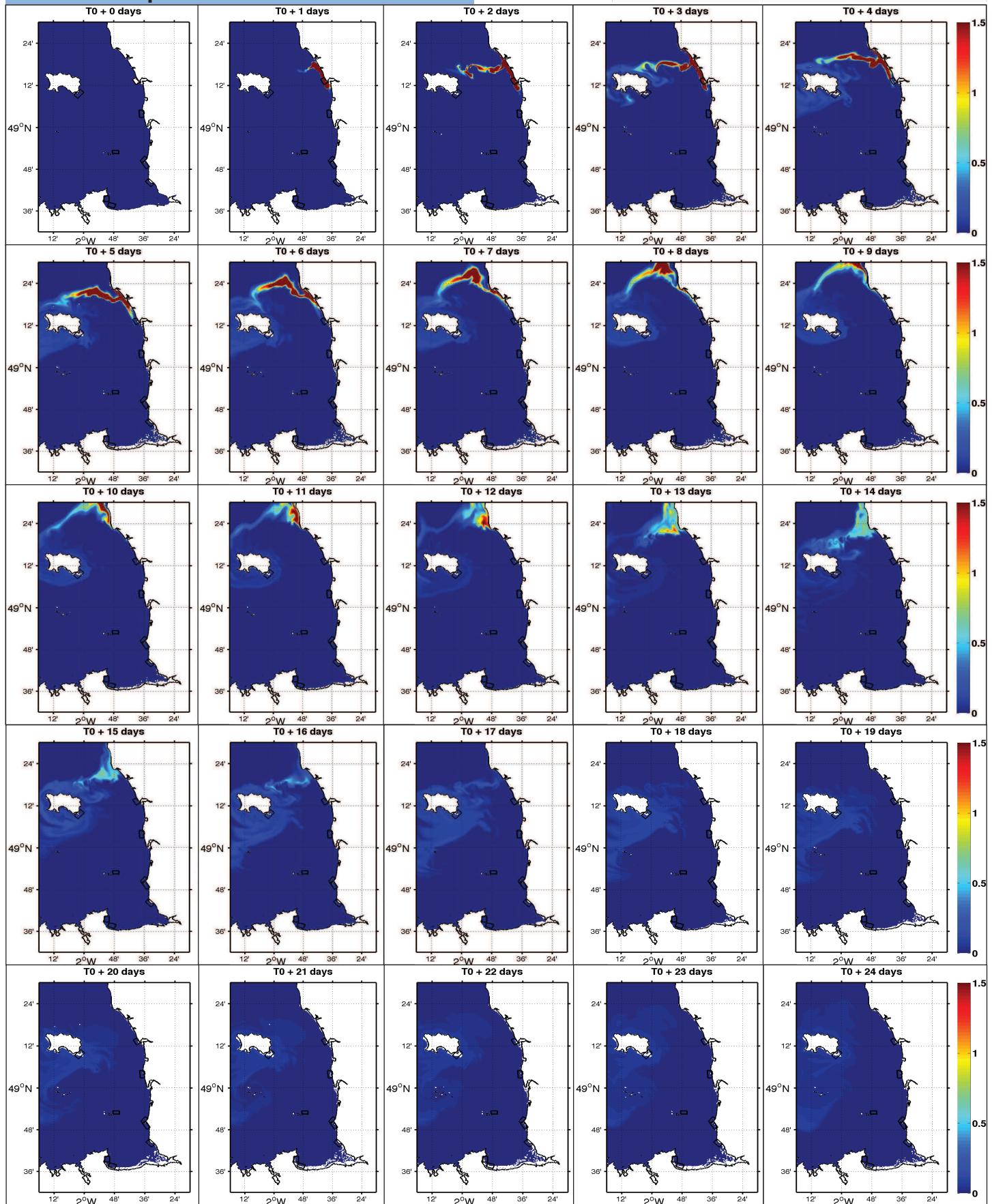
Vent du 20 août au 20 septembre

Origine de la ponte

Saint Germain sur Ay

Date d'émission

25 juillet 2013

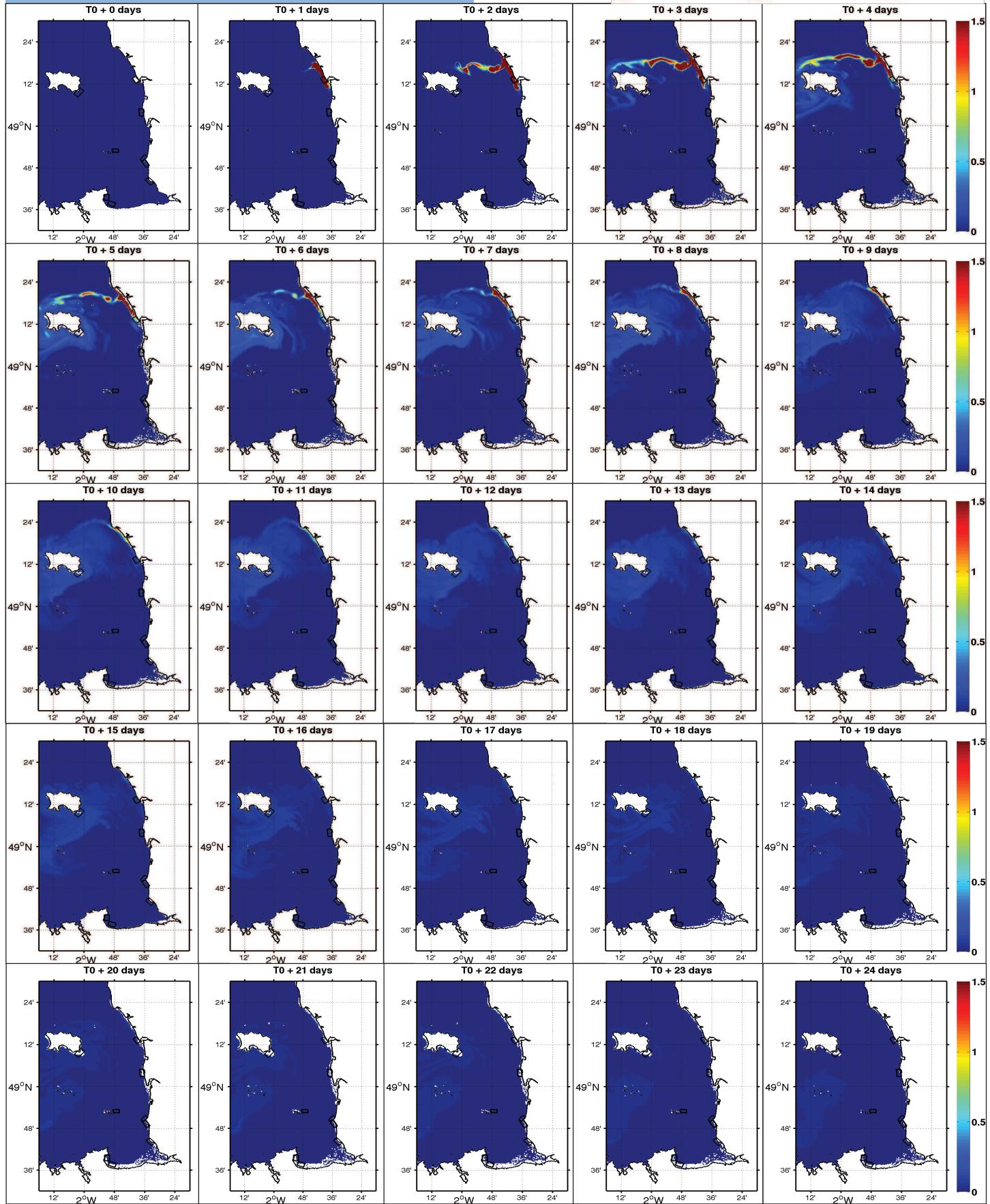
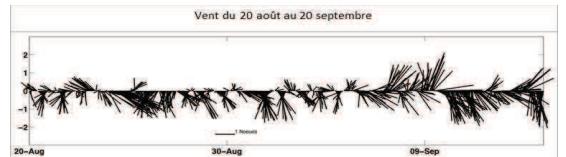


Origine de la ponte

Saint Germain / Ay

Date d'émission

25 août 2013

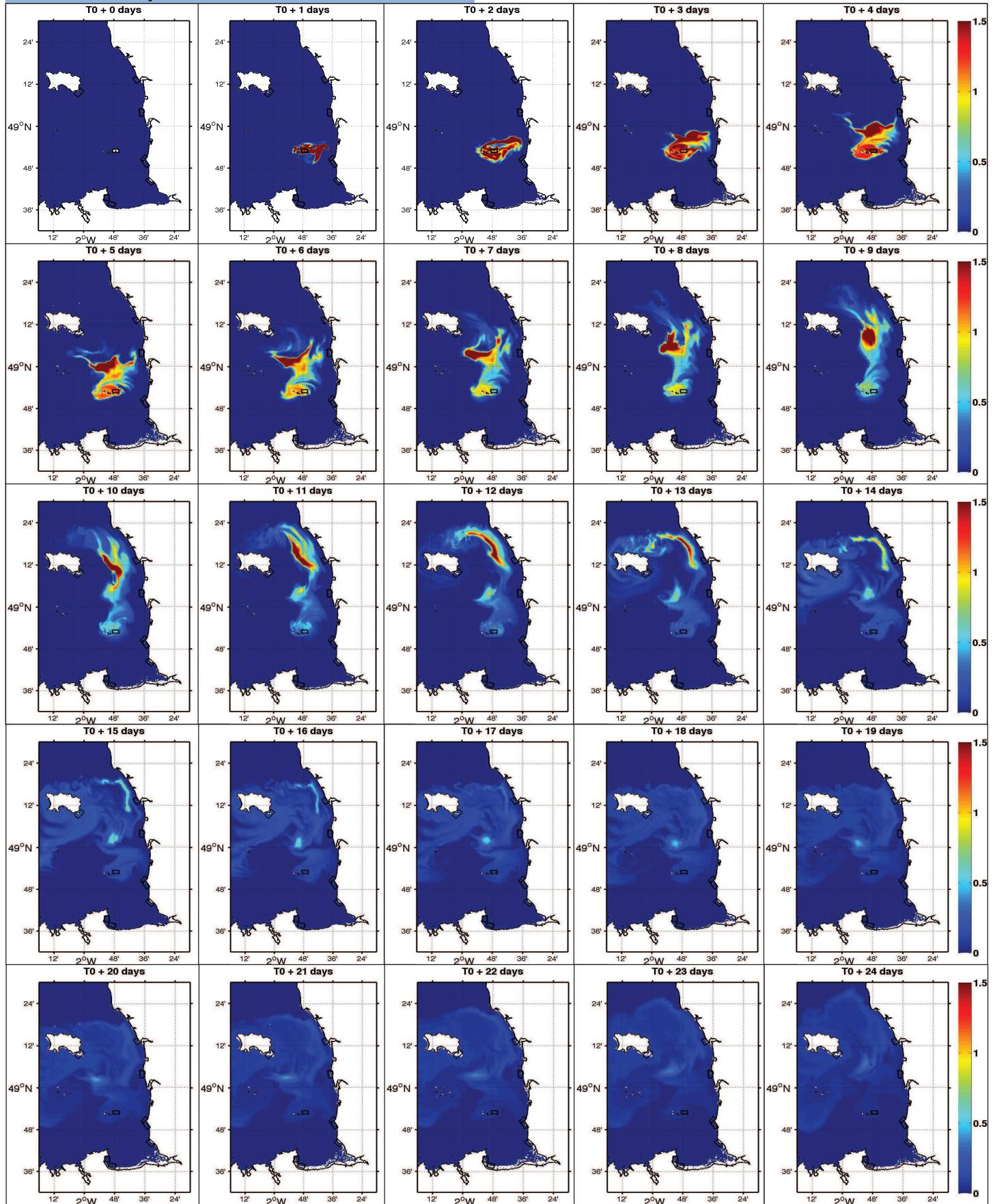


Origine de la ponte

Chausey

Date d'émission

25 juillet 2013



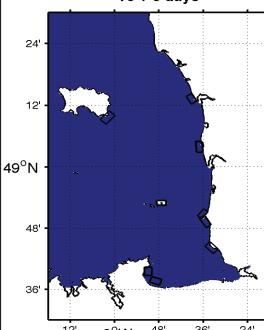
Origine de la ponte

Chausey

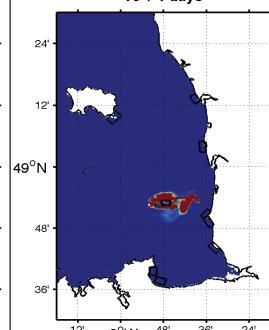
Date d'émission

25 août 2013

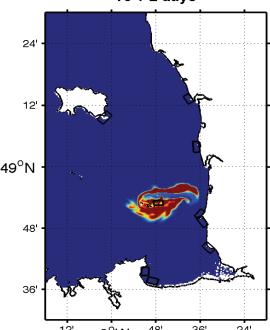
T0 + 0 days



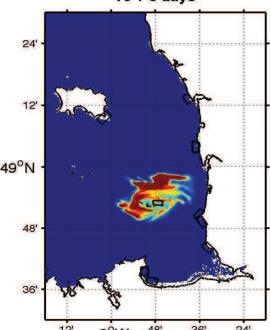
T0 + 1 days



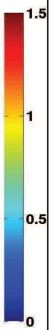
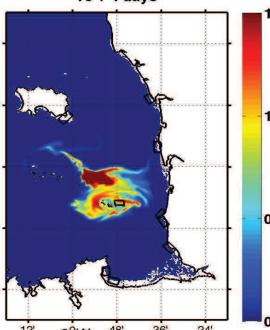
T0 + 2 days



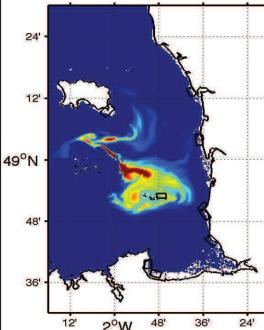
T0 + 3 days



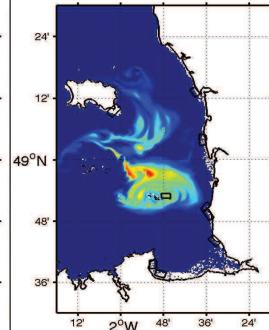
T0 + 4 days



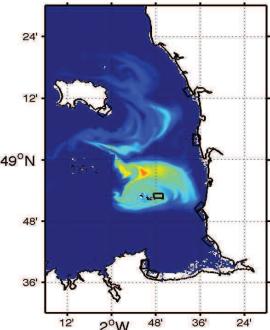
T0 + 5 days



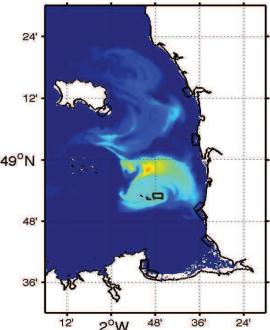
T0 + 6 days



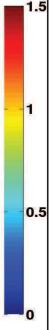
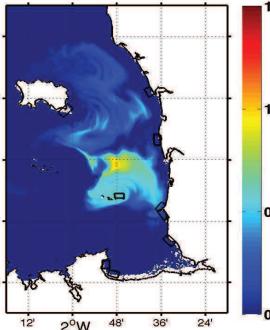
T0 + 7 days



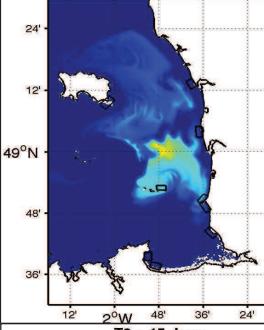
T0 + 8 days



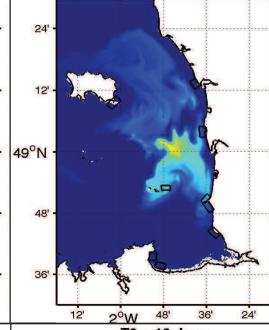
T0 + 9 days



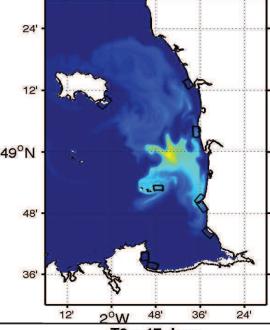
T0 + 10 days



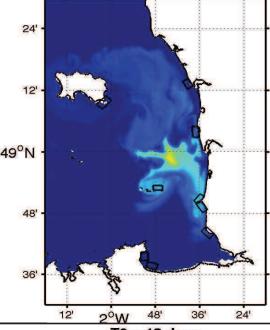
T0 + 11 days



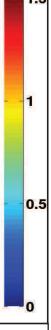
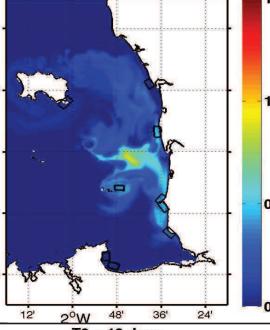
T0 + 12 days



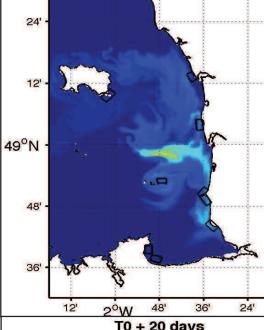
T0 + 13 days



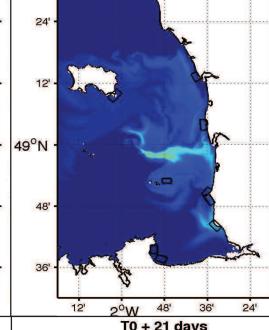
T0 + 14 days



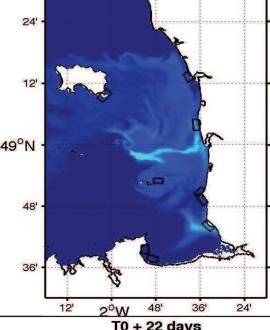
T0 + 15 days



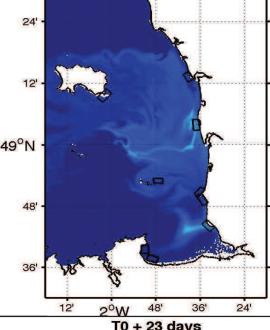
T0 + 16 days



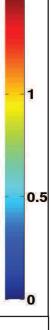
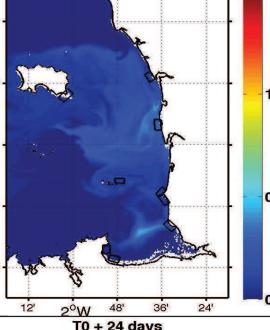
T0 + 17 days



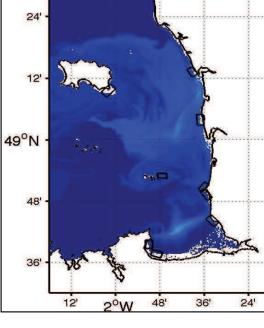
T0 + 18 days



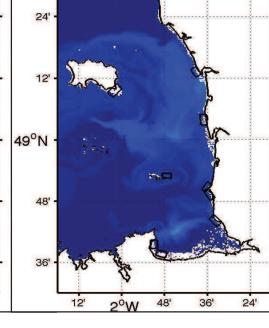
T0 + 19 days



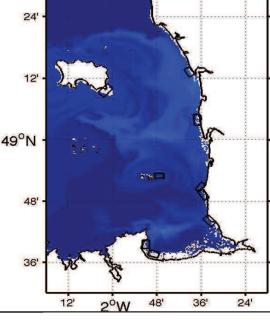
T0 + 20 days



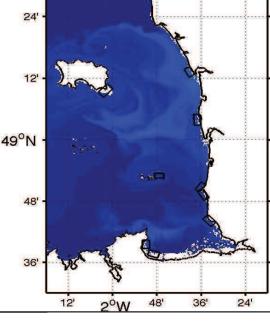
T0 + 21 days



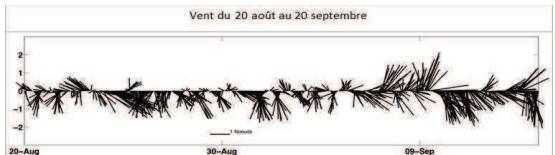
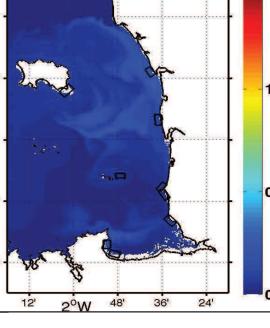
T0 + 22 days



T0 + 23 days



T0 + 24 days

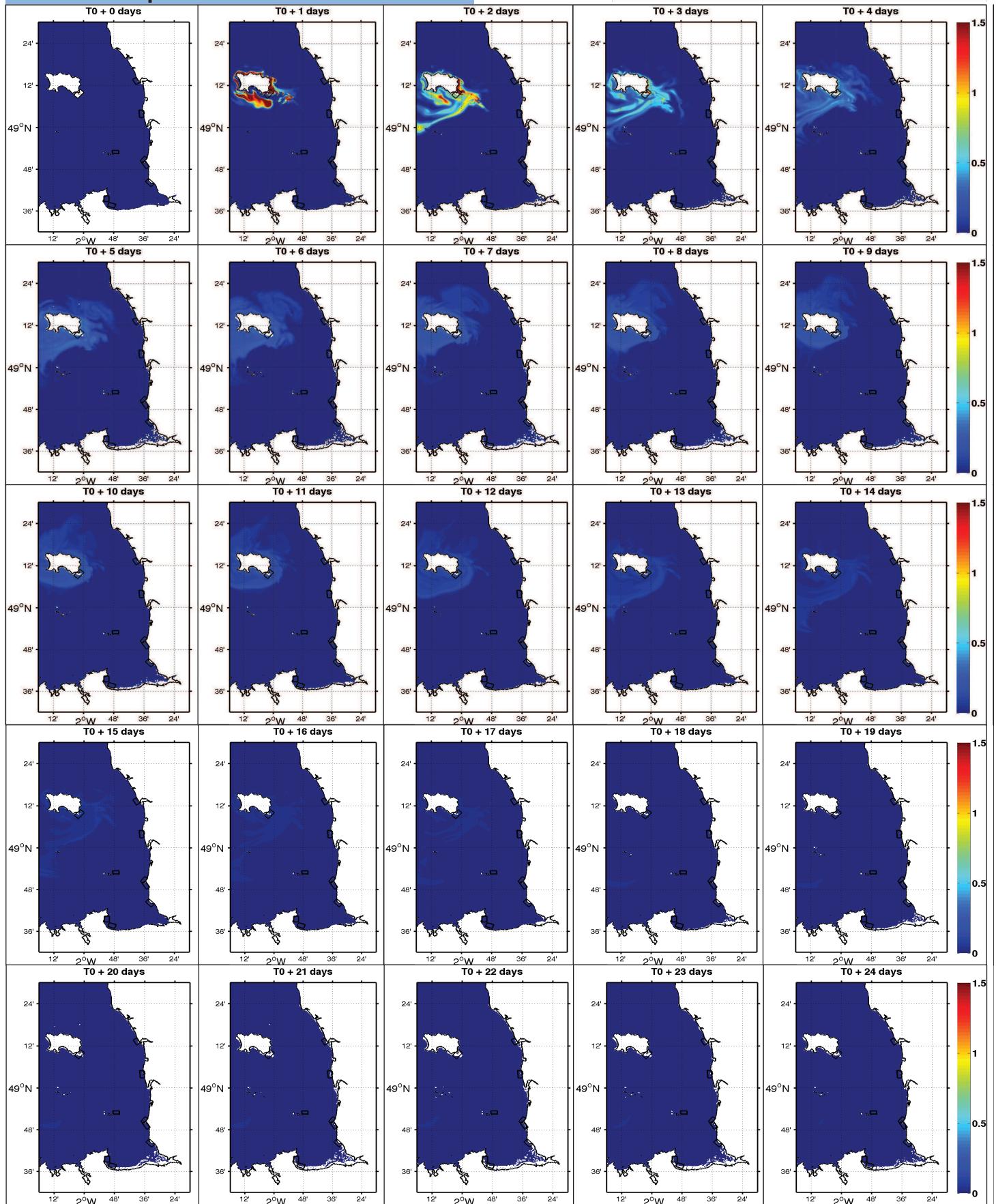


Origine de la ponte

Jersey

Date d'émission

25 juillet 2013

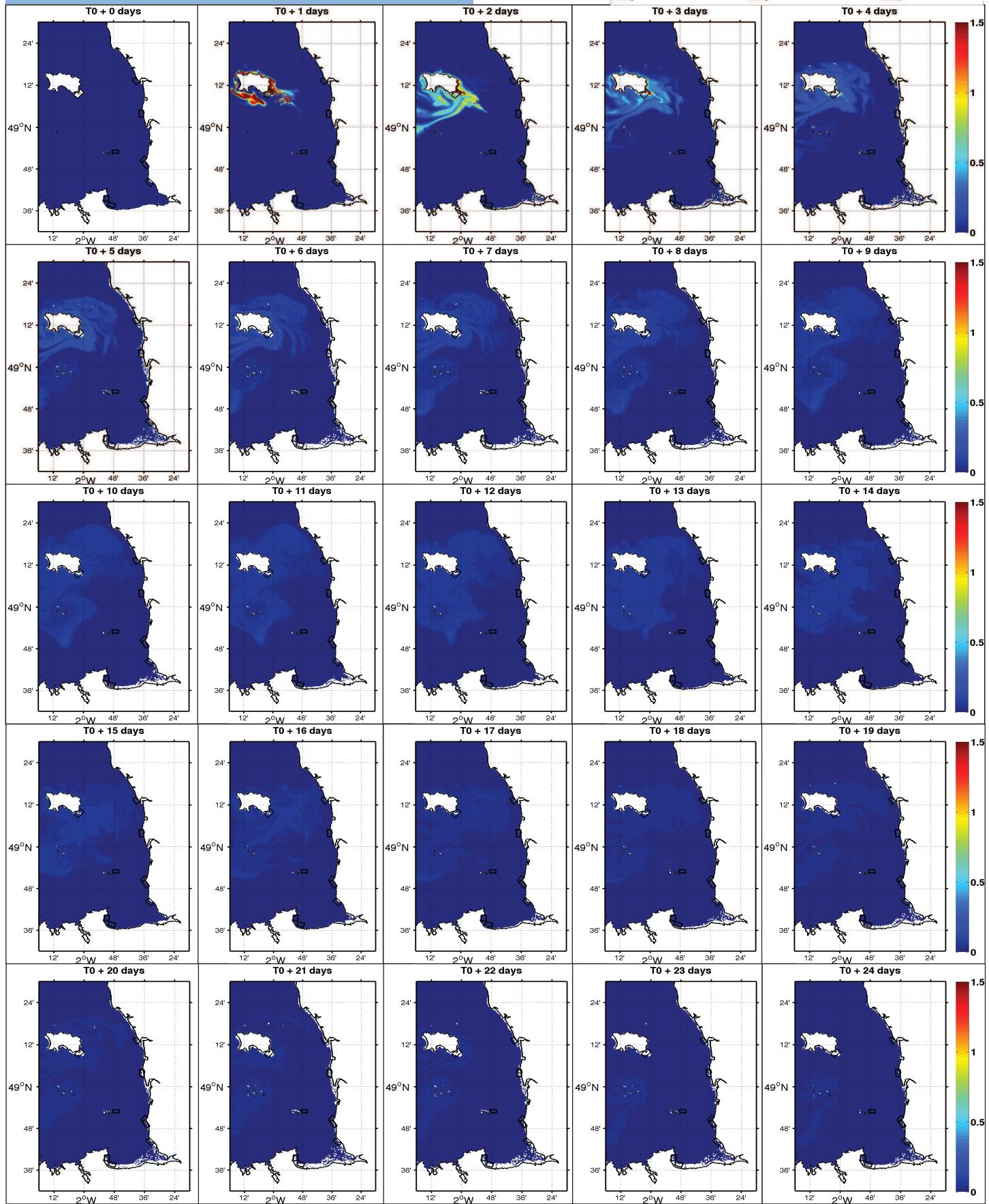
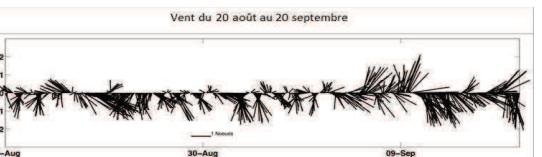


Origine de la ponte

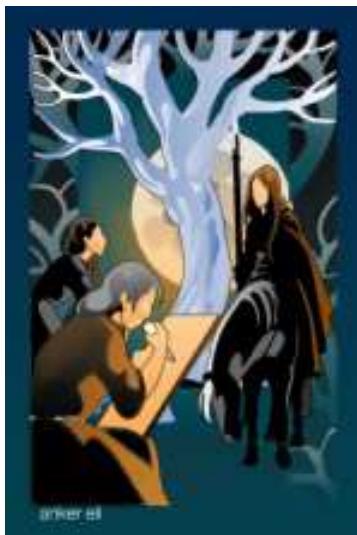
Jersey

Date d'émission

25 août 2013



Dans la mythologie viking, HLIN était une divinité



Hlin (celle qui protège) était la déesse de la consolation, et une des suivantes de Frigg (Déesse mère, épouse d'Odin et mère de Baldr et Höd).

Elle apportait du soulagement aux personnes en deuil et versait le réconfort dans leurs cœurs pour soulager leur peine de la perte d'un être cher.

Elle était souvent envoyée par Frigg en tant qu'émissaire vers les hommes en danger.

Son autre fonction était d'écouter toutes les prières des hommes et d'informer Frigg de ces demandes. Hlin donnait souvent des conseils à Frigg sur la façon de répondre à ces prières. Elle était parfois assimilée à Frigg (Edda Poétique), l'épouse d'Odin, lors de la mort de Baldr.

(<http://mythologica.fr/nordique/>)