

Mars 2008

ifremer

Projet OGIVE

Outils d'aide à la Gestion Intégrée et
à la Valorisation des Ecosystèmes
conchylicoles de Basse-Normandie

Rapport final d'activités - Phase I (2005-2008)

Coordinatrice du projet pour le LERN : Aline GANGNERY



Le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN) de l'Ifremer assure la maîtrise d'ouvrage du projet OGIVE. Les travaux réalisés durant cette première phase ont bénéficié du soutien financier de la Communauté Européenne (Fonds IFOP géré par la Direction Régionale des Affaires Maritimes de Caen), de l'Agence de l'Eau Seine Normandie (délégation du littoral/DEPEE), du Conseil Régional de Basse-Normandie, du Conseil Général du Calvados et de la Section Régionale Conchylicole Normandie – Mer du Nord. Par ailleurs, le Conseil Général de La Manche a contribué à la conduite de certaines activités avec le LERN via la participation du Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral (SMEL). Il convient également de noter la participation active des Directions Départementales des Affaires Maritimes du Calvados et de la Manche en tant que partenaires techniques du projet. Enfin, les départements DYNECO (Brest) et PFOM (Argenton) de l'Ifremer ont assuré un soutien scientifique.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
<hr/>	
2. COMPTE RENDU DE L'EXECUTION DES OBJECTIFS SPECIFIQUES PREVUS DANS LA PHASE I	6
<hr/>	
2.1. L'OUTIL SOUS SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	6
2.1.1. CARTES DE REPARTITION DES PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES (CF. TACHE A12)	6
2.1.2. CARTES DE REPARTITION DES BIOMASSES ET DENSITES D'ELEVAGE (CF. TACHE A2)	9
2.1.3. CARTES BATHYMETRIQUES DES ZONES DE PRODUCTION (CF. TACHE A14)	14
2.1.4. UN EXEMPLE D'UTILISATION DE L'OUTIL SOUS SIG	16
2.2. LE MODELE NON SPATIALISE DE LA BAIE DES VEYS	20
3. COMPTE RENDU DE L'EXECUTION DES TACHES D'ACQUISITION DE DONNEES	23
<hr/>	
3.1. TACHE A1 : BASE DE DONNEES PERFORMANCES DES FILTREURS EN ELEVAGE – ENVIRONNEMENT	24
3.1.1. SOUS-TACHE A11 : RECENSEMENT ET GESTION DES DONNEES EXISTANTES ET FUTURES	24
3.1.2. SOUS-TACHE A12 : VARIABILITE SPATIALE DES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET D'ENGRAISSEMENT DE L'HUITRE CREUSE ET DES PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES	25
3.1.3. SOUS-TACHE A13 : VARIABILITE TEMPORELLE FINE DES PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES	26
3.1.4. SOUS-TACHE A14 : BATHYMETRIE DES ZONES CONCHYLICOLES	33
3.2. TACHE A2 : EVALUATION DES BIOMASSES DE FILTREURS	33
3.2.1. SOUS-TACHE A21 : FILTREURS EN ELEVAGE (COMPLEMENT AU PARAGRAPHE 2.1.2.)	33
3.2.2. SOUS-TACHE A22 : FILTREURS SAUVAGES	34
3.3. TACHE A3 : ECOPHYSIOLOGIE DES FILTREURS EN ELEVAGE	35
3.4. TACHE A4 : INFLUENCE DES FILTREURS SUR L'ENVIRONNEMENT	38
3.5. TACHE A5 : APPORTS DES BASSINS VERSANTS	42
3.6. TACHE A6 : VALIDATION DES MODELES HYDRODYNAMIQUES	42
3.7. TACHE A7 : DETERMINATION DES TEMPS DE RESIDENCE DES MASSES D'EAU	46
4. REFERENCES	48
<hr/>	

1. Introduction

L'objectif général du projet OGIVE est d'acquérir des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie dans le but d'établir une plateforme de données communes à l'ensemble des partenaires du projet (Directions des Affaires Maritimes de la Manche et du Calvados, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Conseil Régional de Basse-Normandie, Conseils Généraux de la Manche et du Calvados, Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral de la Manche et Section Régionale Normandie - Mer du Nord). Ces connaissances sont ensuite utilisées pour développer des outils novateurs permettant de fournir des avis et expertises aux gestionnaires du Domaine Public Maritime. Le projet a ainsi pour objectif de contribuer au développement durable de la filière conchylicole en Basse-Normandie en optimisant la production conchylicole et en préservant la qualité environnementale des écosystèmes qui supportent cette activité.

Le projet OGIVE a été structuré initialement autour du développement de trois outils :

- 1) Un outil empirique sous Système d'Information Géographique destiné à répondre aux questions de gestion relatives aux restructurations à l'échelle d'une concession :
 - Quelles sont les implications (en terme d'influence sur les élevages et sur l'environnement) liées au déplacement d'une concession d'élevage ?
 - Quelles sont les implications liées au changement d'espèce en élevage sur une concession ?
 - Comment choisir une nouvelle zone propice à l'installation d'une activité conchylicole ?
- 2) Un outil de modélisation non spatialisé (*i.e.* modèle d'écosystème biologique) permettant d'estimer la capacité de support trophique (*i.e.* biomasse maximale à mettre en exploitation compte tenu de la nourriture disponible dans l'écosystème) de chacun des sites de production bas-normands.
- 3) Un outil de modélisation spatialisé (*i.e.* modèle d'écosystème couplant les processus physiques & biologiques) permettant d'affiner les estimations de capacité de support trophique et de tester différents scénarios de réaménagement des zones d'élevage.

Les objectifs spécifiques de la première phase du projet étaient de développer *i)* une version préliminaire de l'outil sous SIG avec une première mise à disposition auprès des partenaires et *ii)* un modèle non spatialisé du site de la baie des Veys assorti d'une première estimation de sa capacité de support trophique. Cette première phase s'est déroulée de septembre 2005 à mars 2008.

Le présent rapport a pour objectif de restituer l'ensemble des résultats obtenus lors de cette première phase. Il est structuré autour de deux parties :

- 1) Un compte rendu d'exécution concernant l'atteinte des objectifs spécifiques de la première phase du projet (outil sous SIG et modèle non spatialisé pour la baie des Veys ; Action B – Tâches B1 & B2 de l'organigramme initial),
- 2) Un compte rendu d'exécution concernant l'ensemble des tâches d'acquisition de données et qui sous-tendent le développement des outils (Action A – Tâches A1 à A7 de l'organigramme initial).

2. Compte rendu de l'exécution des objectifs spécifiques prévus dans la phase I

2.1. L'outil sous Système d'Information Géographique

Dans cette approche, l'objectif est de déterminer simultanément la qualité et la potentialité de l'écosystème à recevoir ou soutenir une production conchylicole ainsi que l'influence que va avoir cette production sur le milieu environnemental. On cherche alors à construire des indicateurs qui doivent permettre de fournir un diagnostic le plus intégrateur possible de l'état du milieu environnemental en vue de lui imposer ou non une modification en lien avec l'activité conchylicole. Afin de pouvoir travailler à l'échelle d'une concession d'élevage, les informations utilisées doivent être spatialisées (*i.e.* être de type cartographique). Ces informations sont ensuite intégrées à un Système d'Information Géographique qui constitue l'outil informatique adapté à la gestion de ce type de données. Au sein d'un SIG, chaque carte représente une couche d'information.

La méthode consiste donc à disposer de couches d'informations de nature à déterminer et/ou influencer la productivité biologique d'un écosystème. Dans le cas de la conchyliculture, elles peuvent concerner l'environnement physique (*e.g.* carte bathymétrique, carte représentant la nature des fonds, localisation de points de rejets sur le littoral, localisation de cales d'accès à l'estran), l'environnement hydrobiologique (*e.g.* répartition des concentrations en chlorophylle *a*, en matières en suspension) ou bien les élevages eux-mêmes (*e.g.* cartes des biomasses en élevage, des performances de croissance). A ces différentes couches, on peut ensuite superposer des couches d'informations complémentaires telles que les cadastres numérisés des zones conchylicoles. Les indicateurs sont ensuite construits à partir de la combinaison de plusieurs couches d'information.

Plusieurs couches d'informations ont été acquises spécifiquement dans le cadre du projet au cours de missions sur le terrain réalisées en 2006 & 2007 :

- Cartes de répartition de différents paramètres hydrobiologiques,
- Cartes de répartition des biomasses & densités en élevage,
- Cartes bathymétriques.

D'autres couches d'informations sont également en cours de développement à partir des réseaux de suivis mis en place par le LERN (Réseau microbiologique – REMI, réseau phytoplanctonique – REPHY, réseau de suivi des contaminants chimiques – RNO, Réseau Hydrologique du Littoral Normand – RHLN, Réseau Mollusques des Rendements Aquacoles – REMORA et sa version régionale REMONOR) ou bien à partir d'études plus spécifiques menées par le LERN ou d'autres organismes partenaires tels que le SMEL (*e.g.* modèles hydrodynamiques, Valeurs Culturelles).

Les paragraphes qui suivent montrent quelques exemples de couches obtenues ainsi qu'une première utilisation de l'outil pour de l'aide à la décision.

2.1.1. Cartes de répartition des paramètres hydrobiologiques (cf. Tâche A12)

Neuf campagnes de terrain ont été conduites en 2006 & 2007 (Tableau 1). La méthode a été mise au point et testée en 2006 sur les écosystèmes de la baie des Veys et de la Côte est du Cotentin. Puis, elle a été ré appliquée sur l'ensemble des 4 écosystèmes (Côtes ouest et est du Cotentin, baie des Veys, Meuvaines) au printemps et à l'automne 2007. Les paramètres concernés sont : la température de l'eau (T), la salinité (S), la concentration en oxygène dissous (O₂), la

fluorescence (fluo) et la turbidité (NTU) mesurées à l'aide d'une sonde de type YSI 6600, ainsi que les concentrations en chlorophylle *a* (chla), matières en suspension totales (MES), organiques (MOP) et inorganiques (MIP) mesurées à l'aide de prélèvements d'eau analysés ensuite au laboratoire. La méthode repose sur l'acquisition de mesures (à la sonde ou par prélèvement d'eau puis analyse) en points fixes, positionnés sur une grille d'échantillonnage régulière. Des techniques géostatistiques sont ensuite appliquées aux données afin d'obtenir une carte continue de la répartition de chaque paramètre. Outre l'obtention de couches d'information pour l'outil sous SIG, ces expérimentations avaient également pour objectifs de *i*) mettre en évidence l'existence de structures spatiales notamment en lien avec la présence des mollusques d'élevage et *ii*) fournir des données *in situ* permettant de calibrer et/ou valider les outils de modélisation.

Tableau 1 : Récapitulatif des paramètres cartographiés pour l'ensemble des campagnes et des écosystèmes.

Ecosystème	Dates de campagne	Paramètres cartographiés
Côte Ouest Cotentin	* 12/13 mars 2007	T, S, fluo, chla, MES, MIP, MOP
	* 02/03 octobre 2007	T, S, O ₂ , fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP
Côte Est Cotentin	* 18/19 avril 2006	T, S, O ₂ , fluo, chla, MES, MIP, MOP
	* 22/23 mai 2007	T, S, fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP
	* 15/16 octobre 2007	T, S, O ₂ , fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP
Baie des Veys	* 10/11 mai 2006	T, S, O ₂ , fluo, chla, MES, MIP, MOP
	* 05/06 juin 2007	T, S, O ₂ , fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP
	* 04/05 septembre 2007	T, S, O ₂ , fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP
Meuvaines	* 27/28 juin 2007	T, S, O ₂ , fluo, NTU, chla, MES, MIP, MOP

Parmi les résultats obtenus, la Figure 1 présente la répartition de la salinité mesurée au printemps 2007 en baie des Veys. L'existence d'un gradient croissant de salinité y est parfaitement visible variant entre 28 PSU dans le fond de la baie, en sortie des chenaux de Carentan et Isigny, et 34 PSU vers l'ouverture de la baie.

Les concentrations en chlorophylle *a* montrent également des gradients importants (Figure 2). Le 10 mai 2006, les concentrations mesurées ont varié entre 0 et 11 $\mu\text{g.l}^{-1}$ contre une gamme de variation entre 0 et près de 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$ le 5 juin 2007. Dans les deux cas, des structures spatiales sont également nettement visibles avec de plus fortes concentrations mesurées en sortie du chenal de Carentan et plus globalement dans la partie ouest de la baie. Les concentrations les plus faibles sont systématiquement mesurées dans la partie est de la baie, au niveau des élevages ostréicoles. Ces résultats illustrent à la fois les apports de phytoplancton provenant des bassins versants mais également une importante consommation de phytoplancton par les filtreurs en élevage. La partie ouest de la baie où l'activité conchylicole est absente bénéficie encore de fortes concentrations issues des bassins versants.

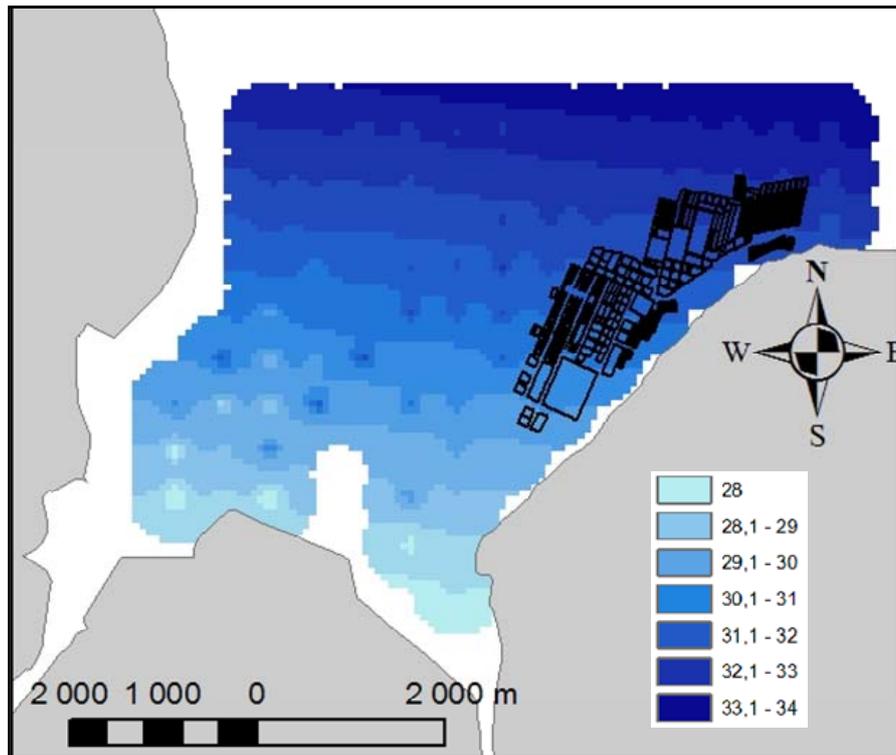


Figure 1 : Cartographie de la salinité mesurée le 5 juin 2007 en baie des Veys.

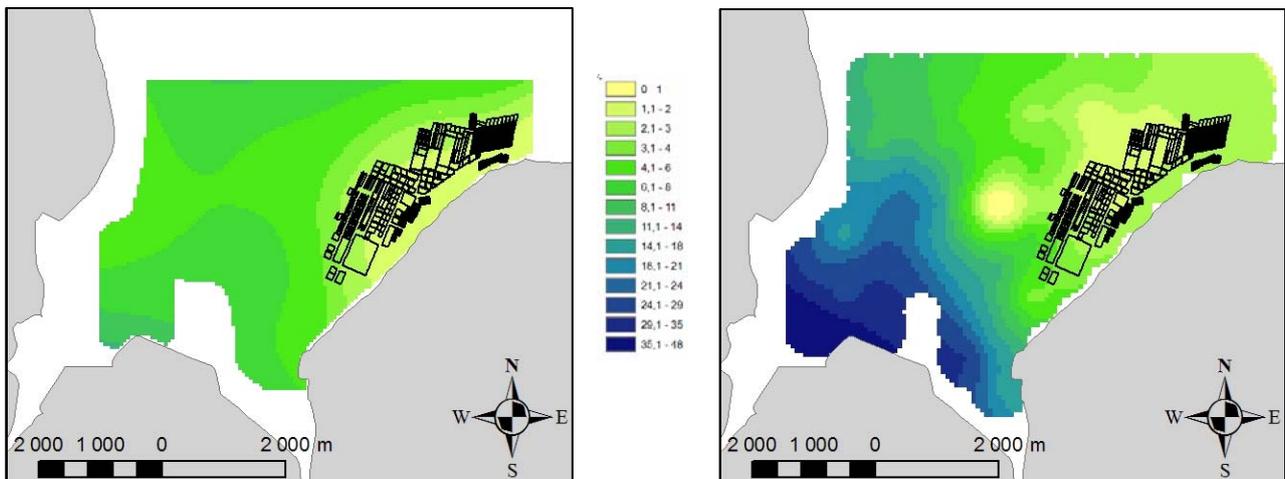


Figure 2 : Cartographie de la concentration en chlorophylle *a* (en $\mu\text{g.l}^{-1}$) mesurée les 10 mai 2006 (à gauche) & 5 juin 2007 (à droite) en baie des Veys.

Sur la côte ouest du Cotentin, le secteur étudié couvrait une zone s'étendant du secteur de Gouville sud au secteur d'Agon, incluant l'estuaire de la Sienne (Figure 3). La répartition de la concentration en chlorophylle *a* mesurée le 12 mars 2007 montre un gradient compris entre 0 et 11 $\mu\text{g.l}^{-1}$. L'influence des apports de la Sienne apparaît avec des concentrations plus élevées. Cette zone d'influence reste faiblement étendue spatialement et les concentrations diminuent rapidement vers le large ainsi que vers le nord. Les concentrations mesurées au niveau des élevages conchylicoles restent donc faibles ($< 2 \mu\text{g.l}^{-1}$) et illustrent une double influence de l'hydrodynamisme dans la zone et de la présence des filtreurs.

Sur le secteur de la côte est du Cotentin, la zone couverte s'étend de la pointe de Saire jusqu'au sud du secteur conchylicole d'Utah Beach (Figure 3). Les concentrations en chlorophylle *a* varient entre 0 et 14 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Les valeurs les plus faibles sont obtenues dans le secteur ostréicole allant de l'anse du Cul de Loup jusque Lestre. Les plus fortes valeurs sont observées au niveau du secteur d'Utah Beach, au sud de la zone. Comme pour la côte ouest, ces résultats illustrent à la fois l'influence de processus hydrodynamiques ainsi que celle liée à la présence des filtreurs. Les fortes concentrations mesurées dans la partie ouest de la baie des Veys se retrouvent au niveau du secteur d'Utah illustrant ainsi la circulation des masses d'eau du sud vers le nord. Quant aux faibles concentrations observées au nord de la côte est, elles résultent à la fois de cette circulation ainsi que de la consommation de phytoplancton par les filtreurs répartis tout au long de la côte.

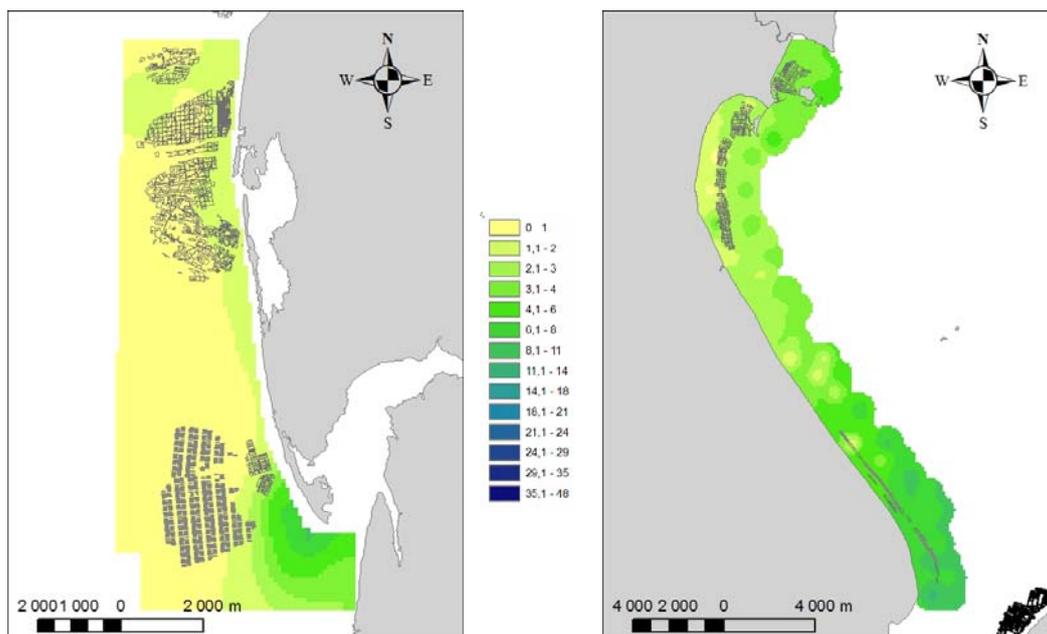


Figure 3 : Cartographie de la concentration en chlorophylle *a* (en $\mu\text{g.l}^{-1}$) mesurée le 12 mars 2007 sur la côte ouest du Cotentin (à gauche) & le 22 mai 2007 sur la côte est (à droite).

2.1.2. Cartes de répartition des biomasses et densités d'élevage (cf. Tâche A2)

Une évaluation des stocks de bivalves en élevage (huîtres & moules) a été réalisée au cours de l'année 2006. Les biomasses mytilicoles ont été évaluées en avril 2006 pour les secteurs des côtes ouest et est du Cotentin, en mai pour le secteur de Chausey et en juin et juillet pour le secteur de la baie des Veys. La méthode utilisée combine, suivant les secteurs, un échantillonnage stratifié avec un échantillonnage du second degré ou un échantillonnage aléatoire simple. Un total de 408 pieux a été échantillonné toutes zones confondues et 36 poches ont été échantillonnées pour le secteur de la baie des Veys. Bien que le plan d'échantillonnage n'ait pas été conçu avec cet objectif, les données recueillies lors de cette évaluation ont également été utilisées pour du traitement cartographique, afin de produire une couche d'information pour l'outil sous SIG. Un exemple de résultats est présenté sur la Figure 4 qui illustre la répartition spatiale des biomasses de moules par pieu sur les secteurs d'Agon et de la Vanlée, sur la côte ouest du Cotentin. Les biomasses par pieu les plus élevées sont observées au sud-ouest de la zone d'Agon et au nord-ouest du secteur nord de la Vanlée avec des valeurs pouvant aller jusqu'à 70 kg de moules par pieu. Cette zone se caractérise à la fois par des profondeurs plus élevées (et donc des durées d'immersion plus grandes) ainsi que

par la présence de l'estuaire de la Seine situé à l'est de la zone d'Agon. Ces caractéristiques seraient susceptibles d'influencer positivement la croissance des moules de cette zone. De la même façon, les biomasses les plus faibles (25-30 kg par pieu) sont observées près de la côte où les durées d'immersion sont les plus courtes. Cependant, cette répartition spatiale n'est pas seulement le simple reflet du processus de croissance. Il résulte également de la mortalité et des stratégies d'élevage des professionnels (densités en élevage, dates d'ensemencement et de récolte, taille des individus à l'ensemencement).

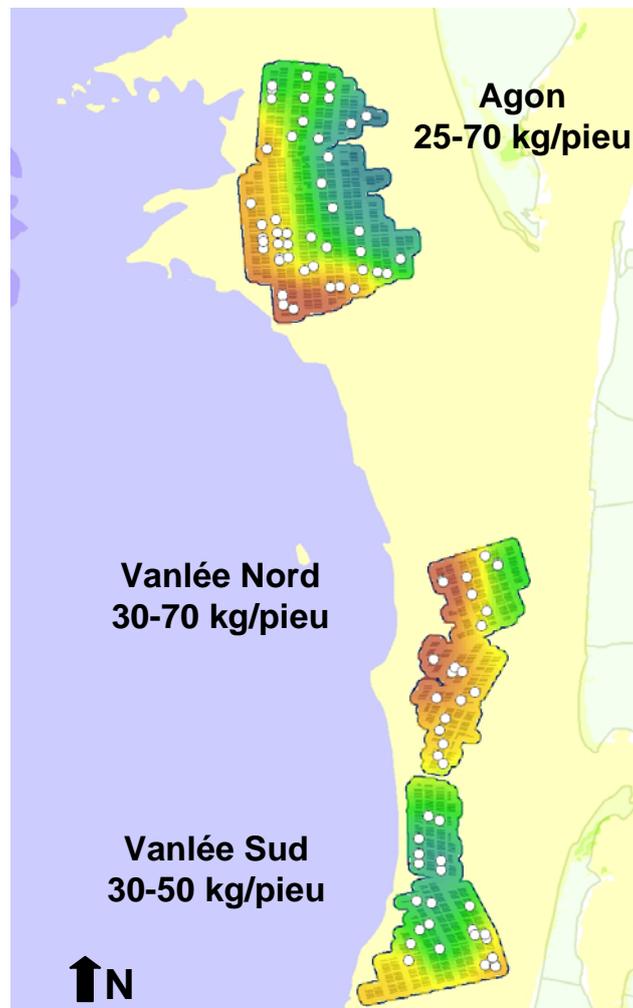


Figure 4 : Répartition des biomasses de moules par pieu dans les secteurs d'Agon et de la Vanlée sur la côte ouest du Cotentin. Le dégradé de couleurs indique les plus fortes valeurs de biomasse en rouge et les plus faibles en bleu. Les points correspondent aux points d'échantillonnage.

Les biomasses ostréicoles ont été évaluées en septembre et octobre 2006. La méthode couple une échantillonnage stratifié et un échantillonnage à deux degrés. Un total de 563 poches ont été pesées sur l'ensemble de la Basse-Normandie. Des prises de vue aériennes ont été couplées à ces échantillonnages de terrain. La campagne de prises de vue a été réalisée en deux périodes par la société SPHAIR. Un premier vol, le 10 août 2006 (coefficient de marée de 102) a permis d'acquérir les clichés sur le secteur de Meuvaines. Les couvertures nuageuses présentes sur le département de la Manche n'ont pas rendu exploitables les prises de vue réalisées sur les autres bassins de production ce jour là. Une seconde campagne a été effectuée le 8 septembre (coefficient de marée de 111), en même temps que les échantillonnages de terrain. L'ensemble des bassins de production ont pu être levés durant la même journée.

L'ensemble des prises de vue a été réalisé au moyen d'une caméra numérique embarquée de type ©ULTRACAM D. Au total, 705 clichés (165 Giga Octets) ont été livrés assurant une couverture totale des zones de production avec un taux de recouvrement de 80 % entre 2 prises de vue. Chaque photographie couvre une emprise au sol d'environ $1,5 \times 2$ km et se caractérise par une définition (pixel) de 20 cm en moyenne. Cette précision permet de parfaitement distinguer les poches ostréicoles présentes sur les concessions d'élevage.

L'exploitation de ces prises de vues a été réalisée en deux étapes. Dans une première étape, 115 clichés ont été sélectionnés pour la qualité de leur couverture (Figure 5). Chacun d'entre eux a alors fait l'objet d'un géo référencement pour les regrouper et les intégrer sous SIG au cadastre conchylicole.

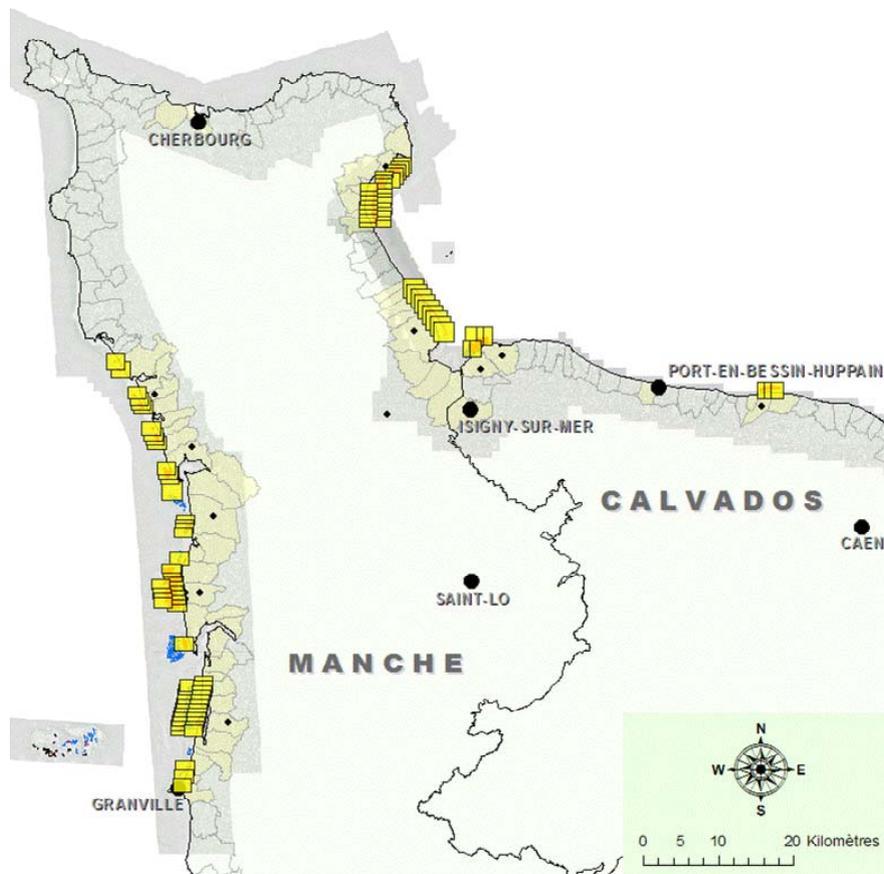


Figure 5 : Emprise des 115 photographies aériennes retenues dans le cadre des évaluations de stocks conchylicoles 2006.

Les contraintes majeures rencontrées sont de deux types : 1) des problèmes d'ajustement du cadastre conchylicole à l'occupation au sol des parcelles exploitées et 2) la nature rocheuse des fonds, rendant difficile l'identification des poches ostréicoles (Figure 6). Ces contraintes ont obligé à reprendre une à une l'ensemble des 2 332 parcelles du cadastre conchylicole afin de s'assurer de leur bonne correspondance avec les photographies aériennes.



Figure 6 : Illustration des principales contraintes rencontrées dans l'exploitation numérique des prises de vues aériennes. (à gauche : liée à la nature des fonds ; à droite : liée à l'ajustement du cadastre conchylicole).

Chaque parcelle a alors fait l'objet d'un traitement individualisé afin de pouvoir évaluer le nombre de poches en élevage selon une procédure standardisée couplant l'utilisation du SIG (identification des parcelles et découpage des photos selon leur emprise) et celle d'un logiciel de traitement morphologique d'image (Logiciel Open Source ©ImageJ¹). La technique développée repose sur une succession d'analyses d'image couplant intensité, segmentation, suppression de bruit, décomposition, squelettisation et dilatation afin d'isoler, dans l'image initiale, les pixels représentant des poches ostréicoles (Figure 7). Cette procédure a pu être validée pour environ 60 % des parcelles.



Figure 7 : Illustration du résultat du traitement automatisé d'image pour évaluer le nombre de poches ostréicoles. (à gauche : extrait d'une image initiale ; à droite : extrait d'une image finale, les pixels noirs (20×20 cm) représentent les poches ostréicoles (0,5×1m)).

¹ <http://rsb.info.nih.gov/ij>

Pour les parcelles restantes, elles ont du faire l'objet d'un traitement manuel direct sous SIG pour évaluer les longueurs occupées par des poches ostréicoles sur chaque ligne de table de chacune des parcelles (Figure 8).



Figure 8 : Illustration de la technique d'analyse manuelle pour évaluer le nombre de poches ostréicoles. La longueur des lignes est ramenée au nombre de poches de 0,5 m de large.

Dans un premier temps, les parcelles du Calvados et de la côte est du Cotentin ont été entièrement traitées manuellement afin de pouvoir disposer d'une référence destinée à étalonner la méthode automatique. Les résultats obtenus ont permis de valider cette nouvelle technique (Tableau 2).

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats de comptage automatisé confrontés au comptage manuel des poches ostréicoles du calvados selon la nature des fonds (Henry, 2007).

		Méthode automatique	Méthode manuelle	Erreur
Images à fond sableux	nombre de poches	670 452	673 006	-0,379 %
	nombre de parcelles	13		
Images à fond rocheux	nombre de poches	426 147	431 097	-1,148 %
	nombre de parcelles	11		
Total	nombre de poches	1 096 599	1 104 103	-0,680 %

Les particularités morphologiques des fonds sur la côte ouest du Cotentin n'ont pas permis de traiter la même proportion de parcelles de manière automatique. La dispersion des concessions et leur nombre (1 900) a nécessité un important travail supplémentaire de validation de la technique automatique et nombreuses sont les concessions qui n'ont pas répondu aux contraintes. Les derniers traitements manuels ont récemment été menés et devraient permettre, sous peu, de disposer de l'intégralité des dénombrements de poches ostréicoles pour l'ensemble des deux départements de la Manche et du Calvados.

A titre d'exemple, des cartes de répartition des densités de poches ont d'ores et déjà pu être réalisées. Par exemple, sur le secteur de Meuvaines, une variabilité de la densité de poches à l'hectare peut être observée (Figure 9). La partie ouest du secteur présente des densités plus importantes que la partie est.

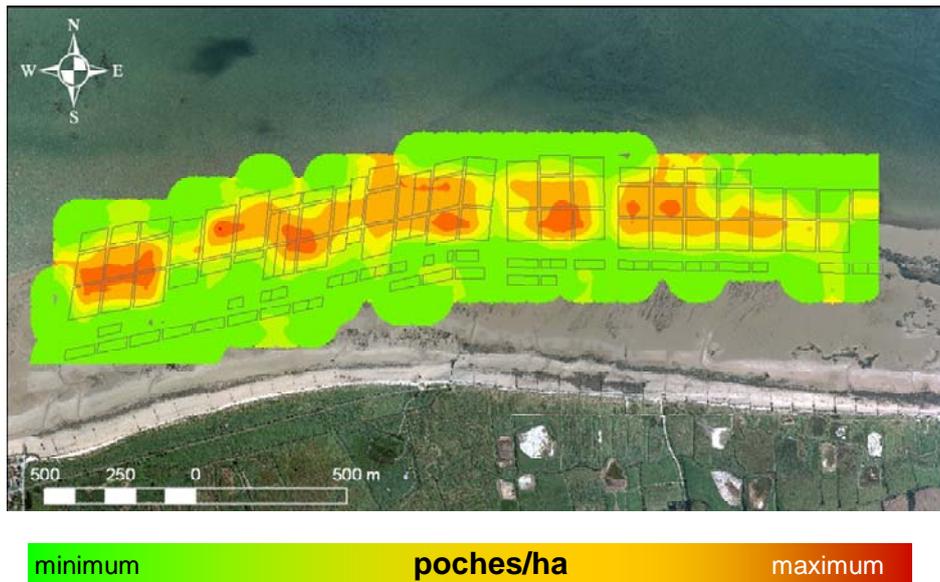


Figure 9 : Cartographie des densités de poches (nombre de poches par hectare) sur le secteur de Meuvaines en 2006.

2.1.3. Cartes bathymétriques des zones de production (cf. Tâche A14)

Dans le cadre du projet, le LERN a fait l'acquisition d'un pack de mesures bathymétriques comprenant un sondeur mono faisceau de type « Tritech Pa 500 », prévu pour des fonds de 0 à 50 mètres, ainsi qu'un ensemble de positionnement GPS « Leica » comprenant une base (à terre) et un mobile (bateau) de réception. Un ensemble radio « PDL » de communication entre les deux récepteurs permet une correction des données en temps réel. Ce matériel permet la réalisation de levés bathymétriques ou topographiques avec une précision centimétrique. Le matériel a été installé et configuré sur le DELPHY (catamaran aluminium de 7,20 m du LERN) et est interfacé sous le logiciel Hypack[®]. Trois agents du LERN ont été formés à son utilisation. La première campagne de levé a été réalisée sur la zone concédée en baie des Veys entre octobre et novembre 2007. Ce travail a été conduit en quatre étapes :

- 1) La base GPS a été positionnée sur la citerne d'alimentation en eau de mer des ateliers ostréicoles de la base conchylicole de Grandcamp. Ce site a été choisi du fait de sa proximité avec la zone à relever. Sa position géographique a été déterminée avec une précision centimétrique à partir d'une borne IGN, elle-même précisément connue. Ce point a donc servi de référence pour la correction en temps réel de la position du mobile sur les trois axes (x, y et z) et pour le calcul de la réduction verticale des sondes (effet de la marée).
- 2) Le levé a été organisé autour de la définition de 15 matrices contenant les profils à réaliser et tenant compte de différentes contraintes telles que l'orientation des isobathes, une longueur maximale de profils de 25 km par jour de travail, une distance de 20 mètres entre chaque profil ou encore la valeur des coefficients de marée (Figure 10).
- 3) La réalisation du levé en choisissant quotidiennement la matrice en fonction des conditions météorologiques rencontrées ainsi que du coefficient de marée.
- 4) Le traitement des données obtenues sous le logiciel Hypack[®] (Figure 11).

Au total, ce travail a nécessité la réalisation de 199 profils pendant 44 heures d'acquisition pour une surface totale couverte de plus de 660 ha.



Figure 10 : Organisation de la campagne de levé bathymétrique de la Baie des Veys.

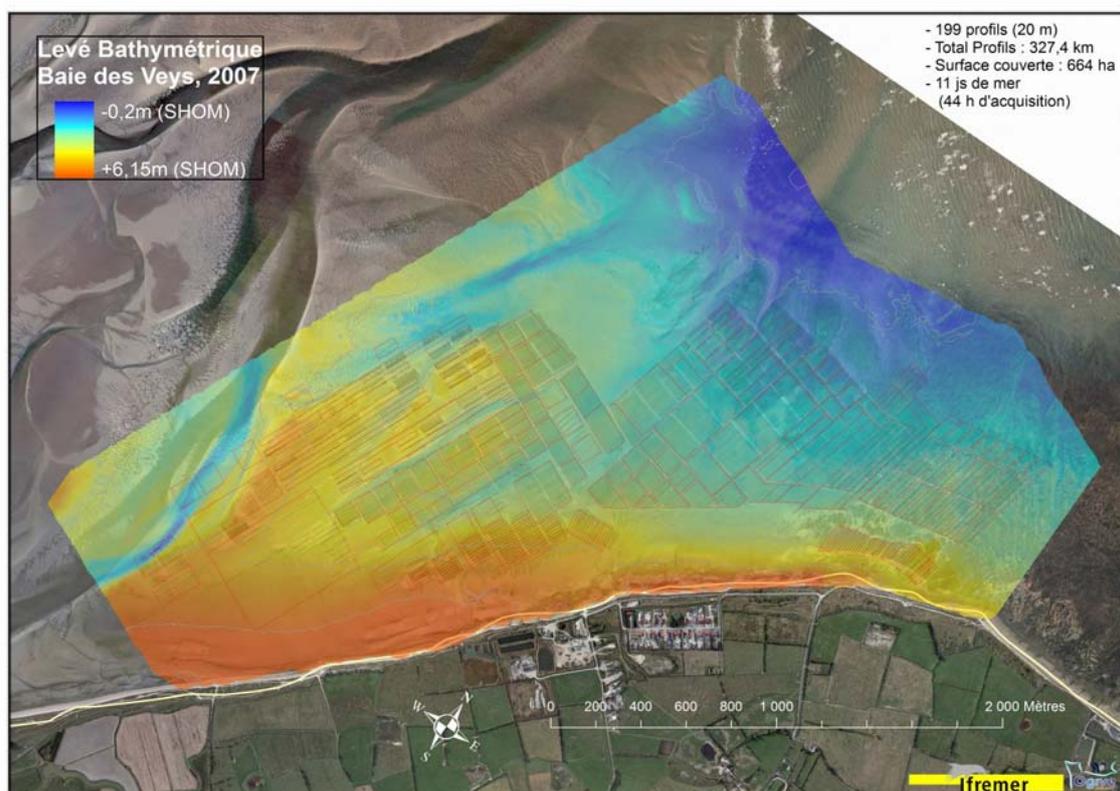


Figure 11 : Bathymétrie de la zone conchylicole de la baie des Veys fin 2007.

2.1.4. Un exemple d'utilisation de l'outil sous SIG

Afin d'illustrer concrètement les apports de ce type d'outil, une première utilisation a été réalisée pour répondre à une question posée par les gestionnaires du DPM concernant les mortalités ostréicoles estivales qui peuvent se produire certaines années en baie des Veys. Le programme MOREST a permis de montrer qu'en écartant de façon temporaire les cheptels en élevage des zones sensibles aux mortalités, il était possible de les réduire. Un objectif a donc été de tenter de délimiter au sein de la baie un espace d'accueil temporaire vers lequel les ostréiculteurs de Géfosse (zone la plus sensible aux mortalités) pourraient transférer leurs cheptels durant la période de risque (printemps & été). La première étape a consisté à estimer la surface nécessaire. Sur la base des évaluations menées par la Direction des Affaires Maritimes du Calvados dans le cadre des calamités agricoles 2007, 55 concessions du cadastre actuel ont été sélectionnées dont les cheptels de taille commerciale ont été les plus touchés (Figure 12). Cela représente une surface de 46 ha. Le principe retenu (arbitraire) est d'offrir aux professionnels la possibilité d'écarter de cette zone 50 % de leur cheptel. La surface totale à délimiter a donc été estimée à environ 28 ha, comprenant 23 ha de parcelles d'accueil et 20 % de couloirs de circulation.

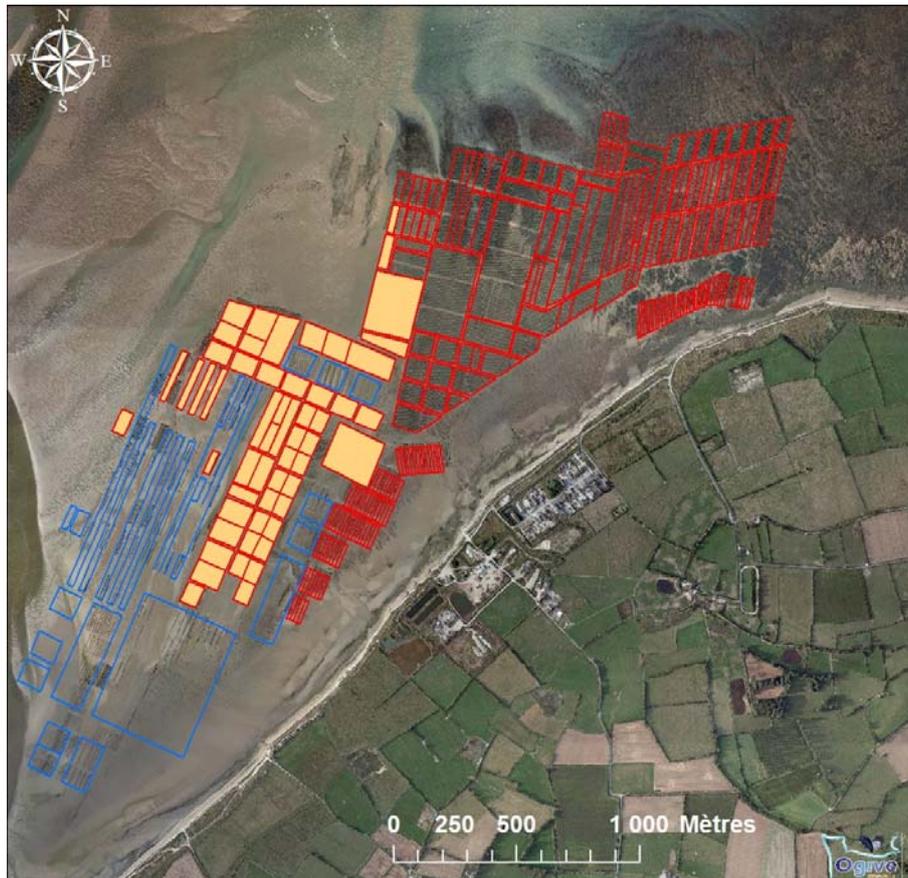


Figure 12 : Concessions retenues comme ayant été les plus touchées par les mortalités au cours de l'été 2007.

La seconde étape a consisté à délimiter la zone d'accueil en considérant trois contraintes :

- (1) l'accessibilité de la zone à basse-mer par des coefficients compris entre 50 et 90,
- (2) la nécessité de limiter l'influence sur les concessions déjà existantes,
- (3) la nécessité de limiter le risque d'ensablement lié à l'introduction de nouvelles structures d'élevage.

Contrainte n°1 : accessibilité à la zone d'accueil

L'accessibilité à basse mer par des coefficients compris entre 50 et 90 correspond à une profondeur située entre 1m50 et 2m75. Nous avons donc utilisé le levé bathymétrique réalisé en baie des Veys en 2007 pour délimiter cette zone sous SIG. Le principe consiste à attribuer des indices d'optimalité (SI de l'anglais « Suitability Index »). Ainsi, la zone comprise entre 1m50 et 2m75 reçoit un SI d'une valeur égale à 100, représentant la notion de « secteur favorable » (Figure 13). Les zones situées en-dehors de ces limites reçoivent un SI égal à 0, représentant la notion de « secteur défavorable ».

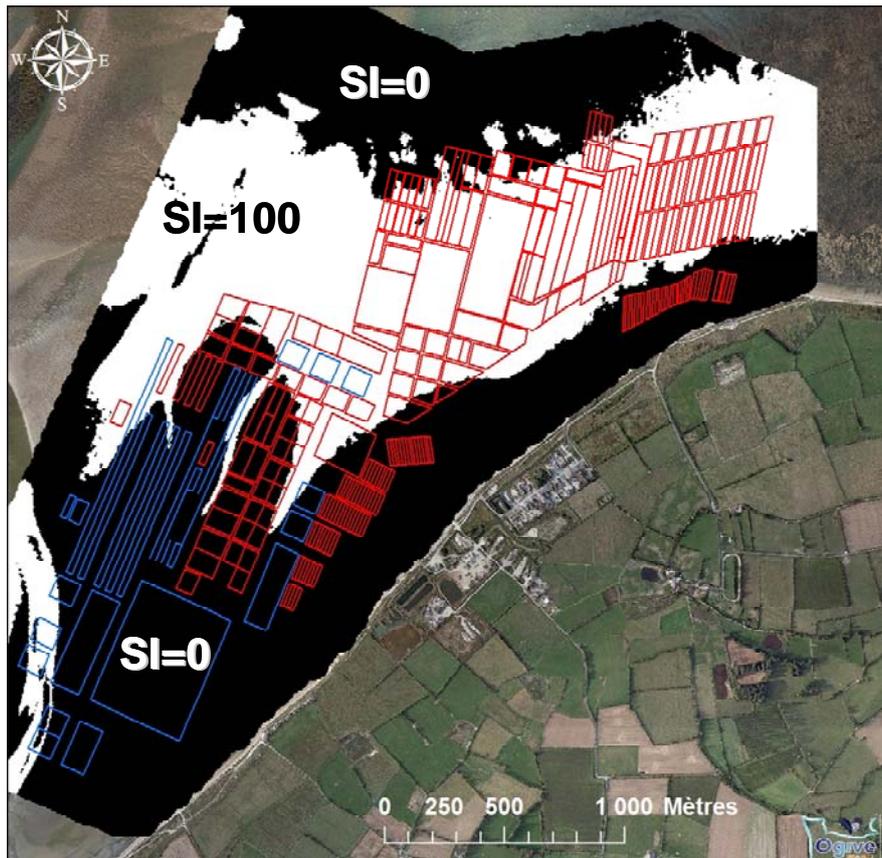


Figure 13 : Représentation de la contrainte « accessibilité à la zone d'accueil ».

Contrainte n°2 : limitation de l'influence sur les concessions déjà existantes

Afin de respecter cette contrainte, il a été décidé d'exclure l'ensemble des surfaces distantes de moins de 25 m des zones actuellement concédées. Comme précédemment, cette délimitation a été réalisée sous SIG en attribuant un SI égal à 100 à l'ensemble des surfaces distantes de plus de 25 m du cadastre (« secteur favorable ») et un SI égal à 0 pour les surfaces distantes de moins de 25 m (« secteur défavorable »). Le résultat est illustré sur la Figure 14.

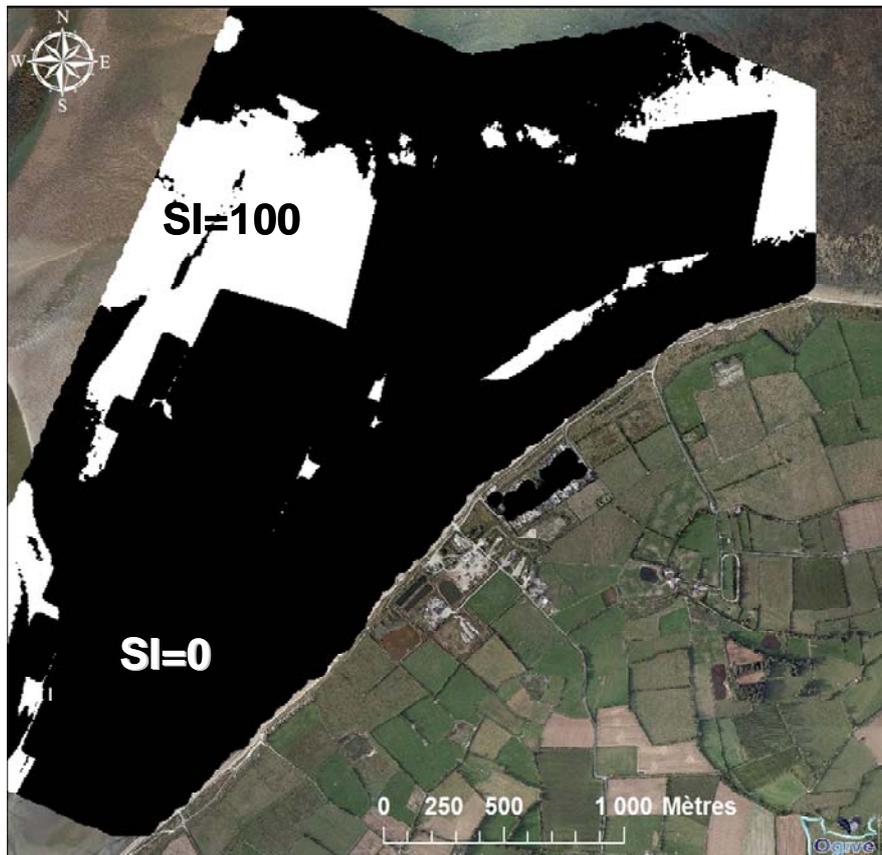


Figure 14 : Représentation de la contrainte « limitation de l'influence sur les structures déjà existantes ».

Contrainte n°3 : limitation du risque l'ensablement lié à l'introduction de nouvelles structures d'élevage

Pour respecter cette contrainte, il a été décidé de privilégier les surfaces disposant d'un fonds rocheux. Cette information sur la nature des fonds a été obtenue à partir des clichés aériens acquis dans le cadre des évaluations de stocks et à partir desquels il a été possible de distinguer les fonds rocheux des fonds d'une autre nature. L'ensemble des surfaces à fonds rocheux a donc été codé avec un SI égal à 100 tandis que le reste a été codé avec un SI égal à 1 (Figure 15).

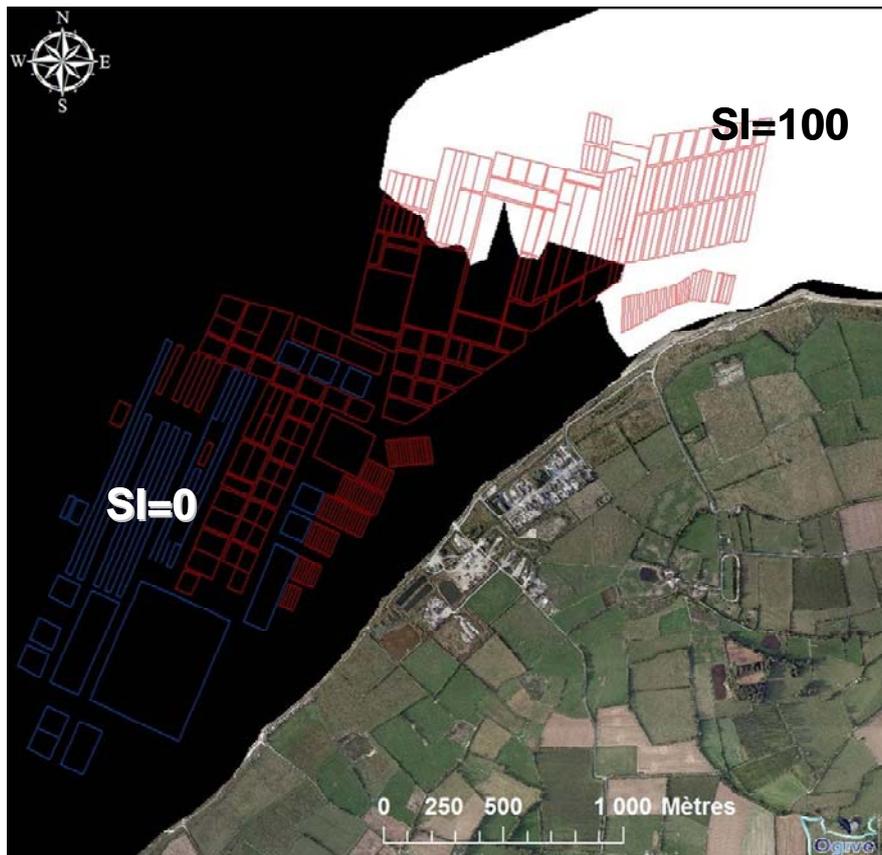


Figure 15 : Représentation de la contrainte « limitation du risque d'ensablement lié à la présence des structures d'élevage ».

Une fois les trois contraintes représentées géographiquement, elles ont été croisées de façon à ne conserver que les surfaces qui possédaient une valeur égale à 100 pour chacun des indices d'optimalité. Le résultat est constitué de plusieurs zones de faible surface qui ont été délaissées au profit d'une zone de 29,3 ha isolée au nord-est de la baie (Figure 16). C'est donc au sein de ce secteur et sur la base de ce raisonnement qu'il a été proposé aux gestionnaires du DPM de privilégier l'implantation temporaire de nouvelles structures d'élevage.

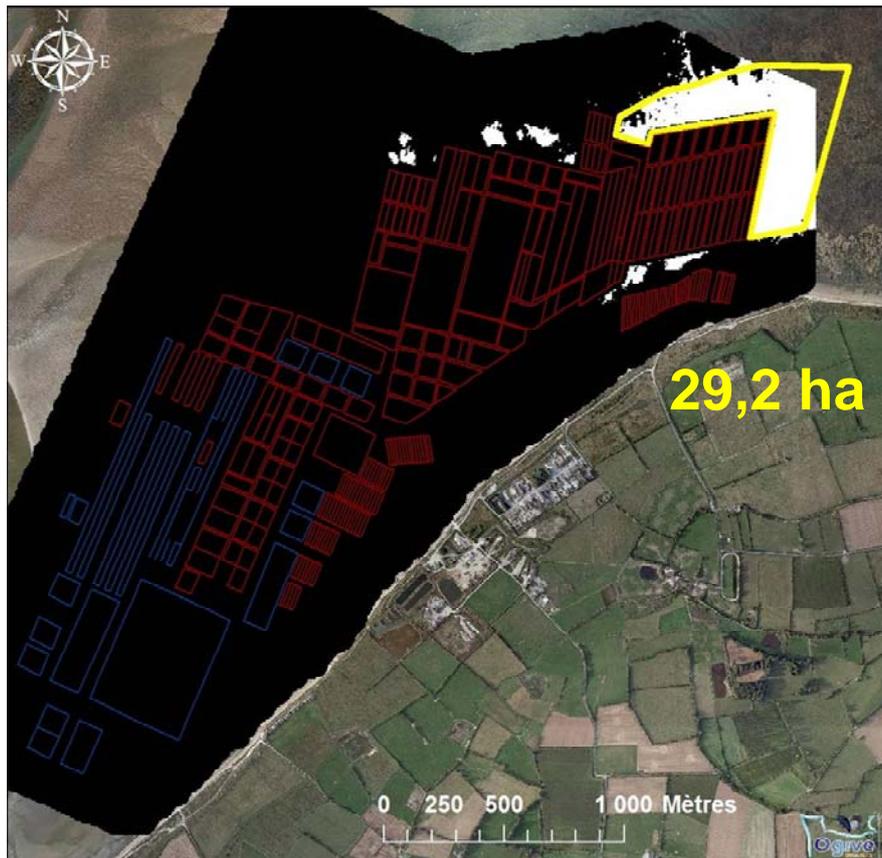


Figure 16 : Représentation géographique de la combinaison des trois contraintes : délimitation d'une zone d'accueil temporaire pour les cheptels ostréicoles du secteur de Gêfosse.

2.2. Le modèle non spatialisé de la baie des Veys

Un modèle d'écosystème non spatialisé du site de la baie des Veys a été développé, reproduisant les interactions trophiques entre les différents compartiments qui soutiennent la production conchylicole. Ainsi, le modèle simule l'évolution temporelle de la concentration en nutriments (azote et silice dans leurs formes organique et inorganique), la production primaire (diatomées) ainsi que les bivalves : ce sont les variables d'état du modèle (Figure 17). Les variables forçantes (*i.e.* variables non simulées) sont les apports océaniques de la Manche, les apports des bassins versants, la lumière et la température de l'eau. Les bivalves sont représentés par le stock total et leur croissance est simulée en couplant au modèle d'écosystème un modèle d'écophysiologie basée sur la théorie des budgets d'énergie dynamique (modèle DEB - Figure 18).

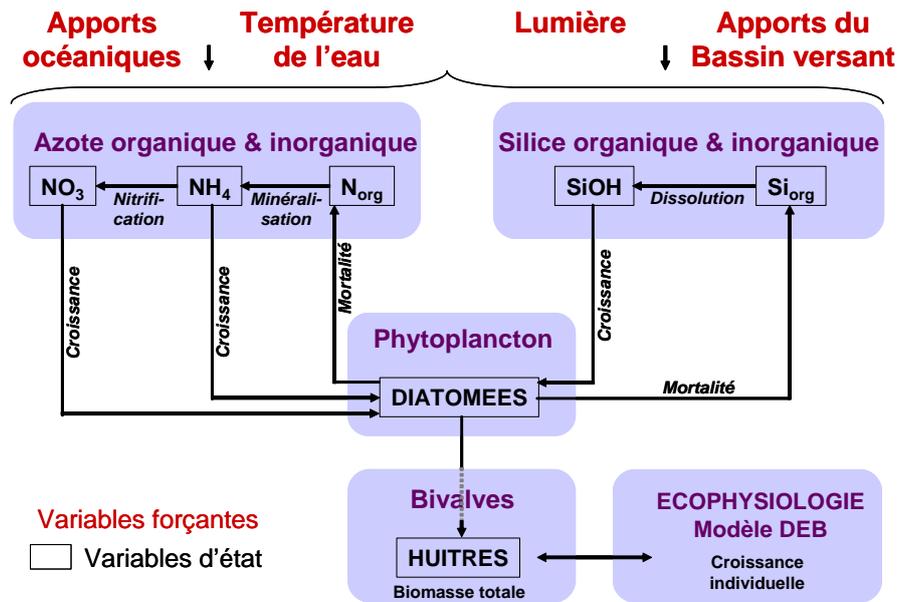


Figure 17 : Schéma conceptuel du modèle d'écosystème non spatialisé développé sur le site de la baie des Veys.

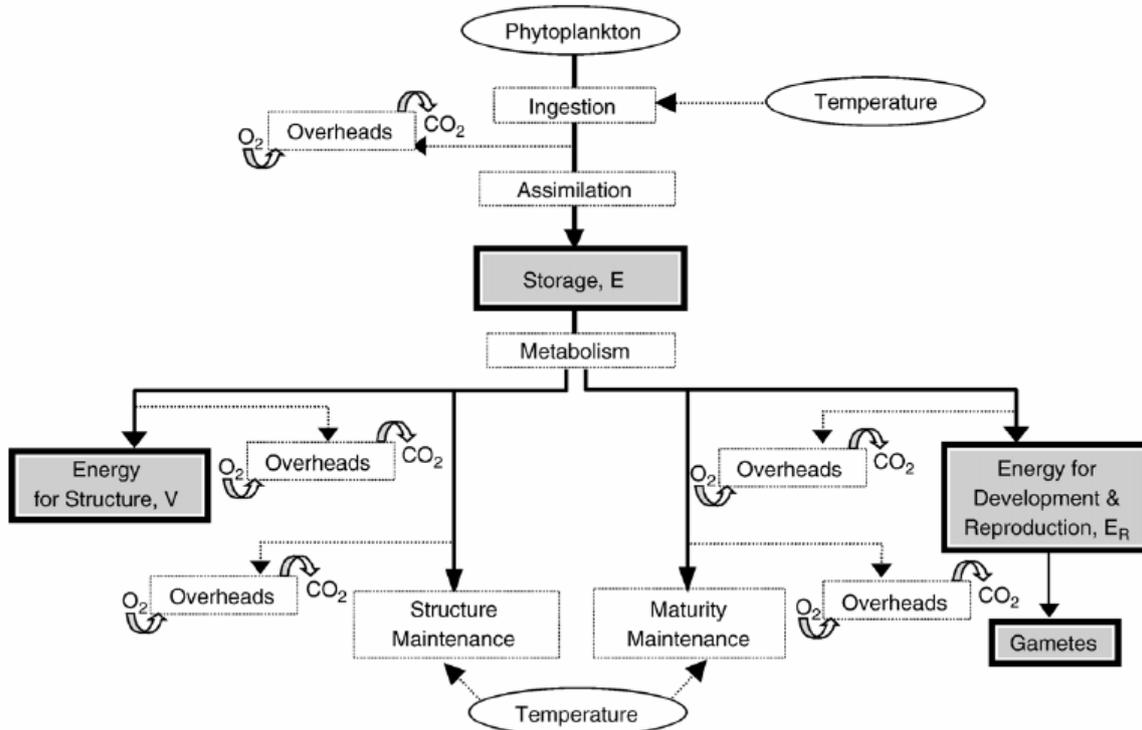


Figure 18 : Schéma conceptuel d'un modèle d'écophysiologie de type DEB (Pouvreau et al., 2006).

Le modèle d'écophysiologie a d'abord été calibré seul (*i.e.* déconnecté du modèle d'écosystème) sur des données de croissance observées issues du programme MOREST. Les variables forcantes sont la concentration en chlorophylle *a* et la température de l'eau mesurées *in situ* en 2002 & 2003 (Jouenne, 2005 ; Le Goff et al., 2005). Les résultats montrent un ajustement

correct du modèle aux données observées (Figure 19). La saisonnalité de la croissance en chair sèche et en longueur de coquille y est globalement bien restituée.

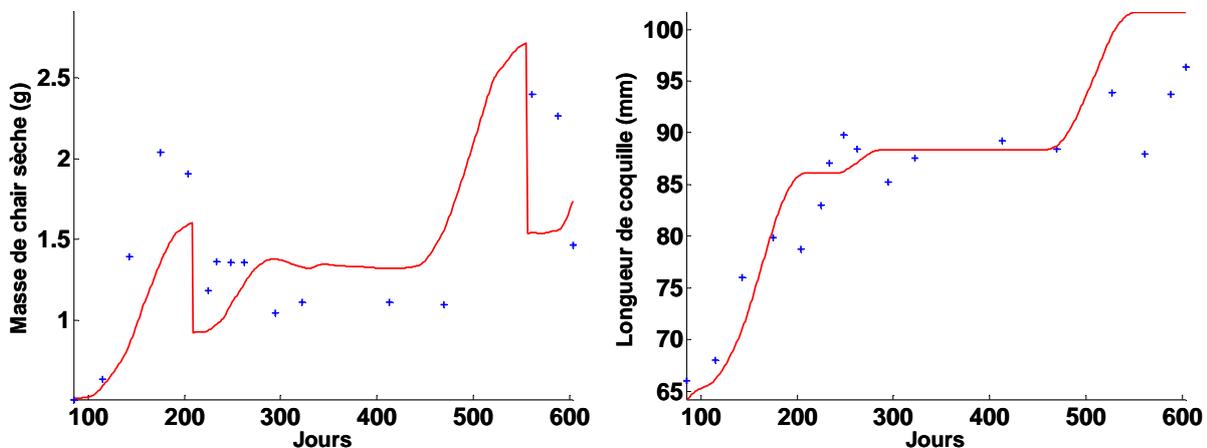


Figure 19 : Calibration du modèle DEB sur des données de croissance observées. Les croix bleues représentent les observations et le trait plein rouge représente la simulation après calibration.

Le modèle d'écosystème n'étant pas spatialisé, les échanges avec la Manche sont reproduits en utilisant le temps de résidence des masses d'eau dans la baie. Ce temps de résidence a été estimé séparément à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D et sa valeur a été évaluée à environ 4,6 jours. Les forçages par les bassins versants sont issus de données de concentrations en nutriments mesurées en 2002 & 2003, qui ont ensuite été moyennées pour construire une année « type » qui a été répétée dans les simulations. Concernant les pratiques culturales, une cohorte d'huîtres est ensemencée chaque 1^{er} mars de chaque année n. Cette cohorte est systématiquement récoltée au 31 décembre de l'année n+1. Les simulations ont été conduites sur 6 ans de façon à laisser le modèle atteindre un état d'équilibre.

Dans un premier temps, les simulations réalisées ont été confrontées à des données observées, issues des réseaux de suivis menés par le LERN, puis le modèle a été utilisé pour reconstruire le lien entre la croissance individuelle et la biomasse totale. Il a ainsi pu être observé qu'un doublement du nombre d'huîtres mises en élevage dans la baie entraînerait une diminution de plus de 20 % de la masse totale individuelle et une augmentation de la biomasse totale limitée à environ 60 % (Figure 20). Cette diminution de la masse des individus aurait pour conséquence immédiate un allongement de la durée d'élevage, ce qui peut être incompatible avec les stratégies de commercialisation des entreprises locales. Une première recommandation en terme de capacité de support trophique serait donc de ne pas augmenter le stock actuellement en élevage afin de ne pas modifier de façon significative les durées d'élevage. Cependant, il reste à étudier la sensibilité du modèle et les simulations qui en découlent en fonction des différents paramètres du modèle.

Le développement du modèle d'écosystème de la baie des Veys et les simulations réalisées ont fait l'objet d'une présentation lors de la 10^{ième} Conférence Internationale sur la restauration des écosystèmes conchylicoles en novembre 2007, à Vlissingen, aux Pays-Bas (Gangnery *et al.*, 2007).

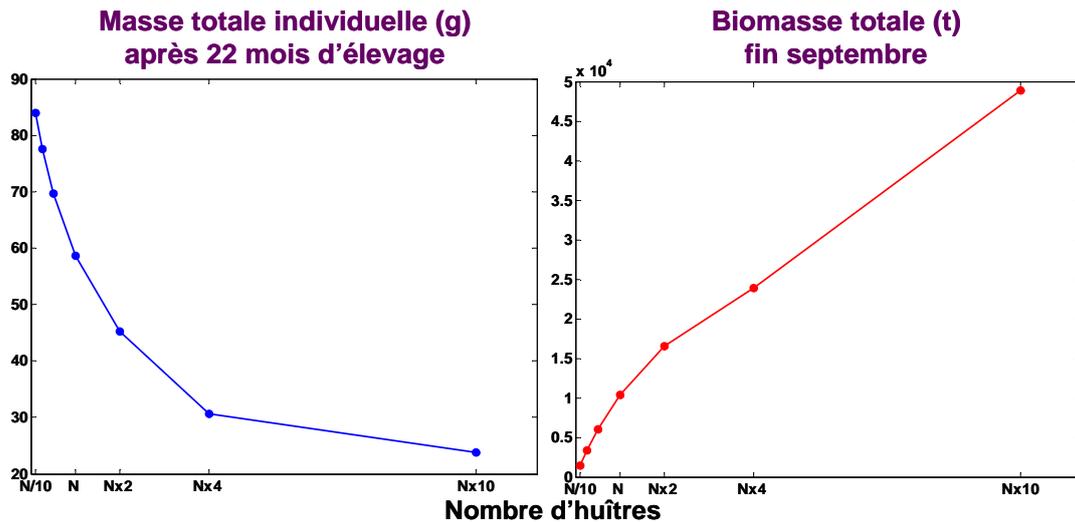


Figure 20 : Relations entre le nombre d'huîtres en élevage et la masse totale individuelle & la biomasse totale en élevage. La simulation réalisée pour N huîtres correspond à la situation actuelle, i.e. une masse totale individuelle à la récolte d'environ 60 g et une biomasse totale en élevage de l'ordre de 10 000 tonnes.

3. Compte rendu de l'exécution des tâches d'acquisition de données

Dans cette partie, l'ensemble des tâches d'acquisition de données (action A du projet) sont détaillées sous forme de fiches reprenant les travaux réalisés dans le cadre de la première phase en lien avec la structuration et les objectifs fixés initialement (Figure 21).

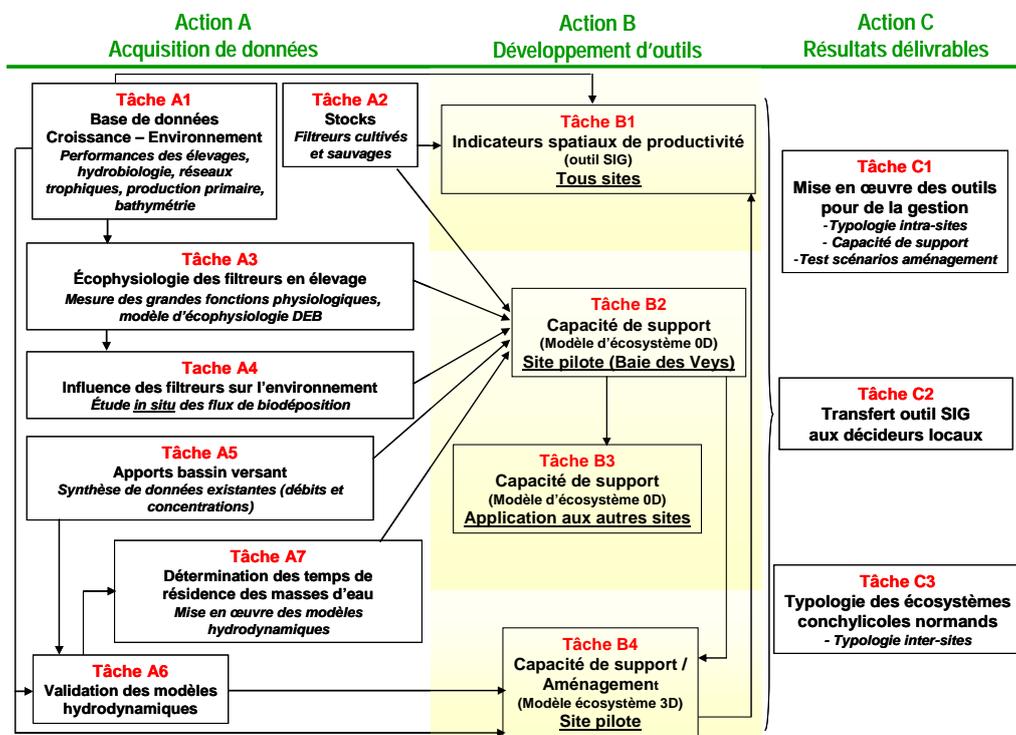


Figure 21 : Diagramme des actions et tâches initialement prévues dans le cadre du projet OGIVE.

3.1. Tâche A1 : Base de données Performances des filtreurs en élevage – Environnement

3.1.1. Sous-tâche A11 : Recensement et gestion des données existantes et futures

Les objectifs de cette sous-tâche étaient de :

- Réaliser la synthèse de l'ensemble des métadonnées des données existantes et d'intérêt pour l'étude des écosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie, dont celle acquises spécifiquement dans le cadre du projet OGIVE,
- Rassembler ces métadonnées au sein d'un catalogue,
- Rendre ce catalogue accessible et modifiable par les partenaires du projet.

Cette sous-tâche a fait l'objet d'un contrat à durée déterminée de 6 mois, entre avril et septembre 2006, recruté spécifiquement pour le projet.

Méthodes

Un modèle de fiche de saisie des métadonnées a été développé puis étoffé au cours des rencontres avec les différents partenaires d'OGIVE et les détenteurs de données. Sa conception a principalement été conditionnée par la nature variable des données à renseigner, qui pouvait à la fois concerner :

- ❶ **Les filtreurs en élevage et sauvages** : données relatives aux biomasses, à la croissance (biométrie), la mortalité, la qualité, l'écophysiologie...
- ❷ **L'environnement marin** : données relatives aux paramètres hydrobiologiques en milieu marin (nutriments, température, salinité, turbidité, oxygène dissous, chlorophylle *a...*).
- ❸ **L'environnement "terrestre"** : données relatives aux débits des cours d'eau (Banque Hydro, Agence de l'eau) et concentrations en nutriments, en matière en suspension, en organismes bactériologiques...

Dans sa forme définitive, qui se devait d'être la plus générique possible, la fiche de saisie des métadonnées se compose de 8 rubriques qui apportent différents niveaux d'information (Tableau 3).

Tableau 3 : Rubriques du modèle de fiche de saisie des métadonnées.

Rubrique	Type d'Informations
Général	- date de création de la fiche, personne avec qui la fiche a été remplie et ses coordonnées, - caractéristiques de l'étude pour lequel les données ont été acquises (intitulé, objectifs...), - emprise géographique et temporelle de l'étude, - le type des données et le type de suivi réalisé.
Stratégie	- définit le nombre de lieux de surveillance, le nombre de lots et le nombre de paramètres mesurés.
Lot	- caractéristique des lots étudiés (taxon des espèces du lot, classe d'âge à la mise à l'eau, la structure d'élevage (table, corde...), le degré de diploïdie, l'origine du lot (Captage naturel ou Ecloserie) et la période que couvre l'utilisation du lot.
Points suivis	- identifie et localise les lieux de surveillance de l'étude
Stratégie/Points suivis	- permet de lier un point de suivi à une stratégie
Paramètres	- caractéristiques des paramètres mesurés lors de l'étude (unité, précision, fréquence de mesure, méthode et support d'analyse...)
Stratégie/Paramètre	- permet de lier un paramètre à une stratégie
Origine	- informe sur l'origine, le stockage et l'accès aux données

Résultats

A ce jour, un total de 90 fiches de métadonnées (1 fiche par étude) a été saisi après recensement auprès d'une dizaine de partenaires. Ces fiches vont assurer une base solide pour la réalisation du catalogue de métadonnées qui sera mis en place à l'horizon 2009 (seconde phase du projet) sous la forme d'une interface web. Les modalités de droits d'accès, d'ouverture vers l'extérieur et de convivialité du catalogue sont encore en cours de réflexion pour obtenir un catalogue pérenne et vivant qui permettra à la fois de rassembler mais aussi de partager les connaissances sur les écosystèmes conchylicoles et le littoral bas-normands.

Participants

Les métadonnées ont été collectées par le LERN auprès d'une dizaine de partenaires, tels que l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, les Directions Départementales des Équipements et les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales du Calvados et de la Manche, la Direction Régionale de l'Environnement de Basse Normandie, le Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux, le Syndicat Mixte pour l'équipement du Littoral et le Laboratoire de Biologie et Biotechnologie Marine de l'Université de Caen.

Le travail réalisé dans le cadre de cette sous-tâche a fait l'objet d'un document de synthèse qui dresse un bilan sur l'état d'avancement du catalogue (Nogues, 2006).

3.1.2. Sous-tâche A12 : Variabilité spatiale des performances de croissance et d'engraissement de l'huître creuse et des paramètres hydrobiologiques

Les objectifs de cette sous-tâche étaient de 1) cartographier les performances d'élevage de l'huître creuse ainsi que la répartition des paramètres hydrobiologiques dans les écosystèmes conchylicoles de Basse Normandie, 2) mettre en évidence l'existence de structures spatiales dans la répartition de ces paramètres et 3) fournir des données observées nécessaires aux étapes de calibration / validation des modèles d'écosystème.

Variabilité spatiale des performances d'élevage de l'huître creuse

Depuis 2003, des cartographies des performances de croissance de l'huître creuse sont réalisées par le SMEL à la demande de la SRC dans les bassins conchylicoles du département de la Manche (Côtes Ouest et Est Cotentin). La méthode repose sur la mise en place de poches contenant des huîtres de 18 mois et de masse connue. Les poches sont distribuées à des conchyliculteurs qui les placent eux-mêmes sur leurs parcs selon un quadrillage qui a été défini préalablement. Après une année sur site, les poches sont ramenées à terre et les huîtres sont pesées dans leur globalité de façon à estimer le rendement obtenu qui intègre ainsi les performances de croissance et la mortalité. Ces expérimentations ont été conduites dans les bassins de la Manche en 2003, 2004 & 2005 (Baguenard et al., 2005 ; Blin et Richard, 2005, 2006) et une carte de référence a été établie pour l'ensemble des trois années (Blin et Richard, 2007). En 2005, 2006 & 2007, l'expérimentation a été étendue aux bassins du Calvados (baie des Veys et Meuvaines). Le LERN et le SMEL en ont assuré la réalisation. Les données sont aujourd'hui acquises et restent à traiter.

Variabilité spatiale des paramètres hydrobiologiques

Les acquisitions faites dans ce cadre sont largement détaillées au paragraphe 2.1.1.

On peut toutefois signaler que cette sous-tâche a fait l'objet d'un rapport de stage de 6 mois, dont l'objectif était de mettre au point les routines de traitement statistique de ces données. Ce travail a porté sur les deux campagnes conduites en 2006 (Potel, 2006).

Participants

Le SMEL et le LERN ont collaboré dans le cadre de la réalisation de ces actions.

3.1.3. Sous-tâche A13 : Variabilité temporelle fine des paramètres hydrobiologiques

La compréhension et l'intégration des processus de fonctionnement d'un écosystème conchylicole passent par la connaissance approfondie des relations entre l'animal (*e.g.* biologie, physiologie, comportement, zootechnie) et l'environnement dans lequel il se développe. Ces dernières années, le besoin de mieux connaître et de mieux caractériser le compartiment environnemental des bassins de productions conchylicoles s'est révélé une priorité. Historiquement, les moyens disponibles reposaient essentiellement sur les données issues des réseaux de surveillance institutionnels (*e.g.* REPHY, REMI, RNO). Toutefois, la nature de ces réseaux (*i.e.* suivis hydrobiologiques & phytoplanctoniques orientés vers des problématiques sanitaires) et leur échelle d'observation (fréquences mensuelles à saisonnières) ne permettaient pas de répondre efficacement aux interrogations soulevées par la filière conchylicole. Il s'est donc avéré nécessaire de mettre en œuvre du matériel spécifique d'acquisition haute-fréquence et pouvant être disposé plus près des cheptels en élevage.

Méthodes

Depuis 1996, le LERN de l'Ifremer Port-En-Bessin dispose d'un parc de sondes multiparamétriques autonomes qui peuvent être déployées *in situ* au sein de poches ostréicoles (Figure 22). En baie des Veys, un même site est instrumenté en continu depuis 1996 au moyen de ces sondes. Ce matériel enregistre à haute fréquence (10 minutes) les paramètres de bases que sont la température, la salinité et la pression (hauteur d'eau au dessus des poches). Les contraintes d'utilisation sont nombreuses, liées essentiellement aux conditions du milieu qui sont très fluctuantes (alternance de périodes d'immersion/émersion) et fragilisent le matériel. Ces contraintes limitent l'autonomie du matériel sur le terrain à un à deux cycles de marées (15 jours à un mois). A chaque intervention, le matériel est vérifié, les données sont récupérées et les capteurs font régulièrement l'objet de contrôles métrologiques selon des procédures standardisées.

Dans le but de s'affranchir de ces contraintes nécessitant de nombreuses interventions *in situ* et afin d'améliorer encore les connaissances de ces écosystèmes, de nouvelles générations de matériel sont apparues depuis quelques années. Ainsi, dans le cadre du programme MOREST (2000-2005) des systèmes de type MAREL-ESTRAN ont été développés. Le premier prototype est déployé en baie des Veys depuis 2005 (Figure 23).



Figure 22 : Sondes multi paramètres haute fréquence en condition *in situ* dans une poche ostréicole.

Ce matériel repose sur un Système Electronique de Mesure et de Contrôle (SEMC) qui gère simultanément :

- Une pompe de circulation avec contrôle de débit.
- Un module "Energie" constitué de deux batteries positionnées dans un caisson.
- Un système "chlorateur" pour empêcher le développement de bio salissures sur les capteurs.
- Un modem GSM pour l'émission quotidienne, à basse mer, des données enregistrées.



Figure 23 : Système MAREL-ESTRAN déployé en baie des Veys depuis 2005.

L'intérêt de ce système est double. D'une part, les données sont transmises automatiquement par GSM à chaque basse mer vers un serveur central permettant ainsi une accessibilité quotidienne *via* une interface WEB. D'autre part, le système "chlorateur" permet de prolonger l'autonomie du système jusqu'à 3 mois. L'ensemble des contrôles et vérifications sont réalisés sous assurance qualité selon des procédures standardisées par le laboratoire de métrologie du LERN.

Au-delà de la mesure des paramètres hydrologiques, de leur visualisation et interprétation rapide et de l'automatisation de la collecte des données, de tels systèmes ouvrent des perspectives variées dans le domaine de la gestion des écosystèmes conchylicoles. Ainsi il est possible d'envisager de pouvoir mieux caractériser l'influence des apports d'eau douce en zone littorale, d'étudier plus finement la variabilité des paramètres sur estran, d'identifier rapidement l'émergence d'efflorescences algales ou permettre la mise en œuvre de système d'alertes.

Résultats

Parmi l'ensemble des applications développées autour de l'acquisition haute fréquence durant cette première phase du projet OGIVE, la mise en œuvre d'un système d'évaluation de risque lié aux mortalités ostréicoles estivales en baie des Veys est à ce jour le plus abouti. Dès 2002, il a été montré que les mortalités d'huîtres adultes en Baie des Veys étaient reliées avec les fortes pluviométries automnales et hivernales. Les travaux effectués durant le programme MOREST sur la façade Manche (Baie des Veys, Cancale, Paimpol, Morlaix) confirment depuis ce résultat (Soletchnik et *al.*, 2007). L'effet "eau douce" est mis en évidence en baie des Veys, quel que soit le descripteur retenu : (1) la pluviométrie, estimateur de l'importance des apports aux bassins versants ; (2) les débits, estimateurs des apports terrigènes à l'estuaire et aux sites de production par les panaches des cours d'eau (Misko, 2003) ; (3) la salinité, paramètre intégrateur de l'ensemble des apports et des dilutions provoquées par le mélange des eaux, traceur des apports sur le lieu d'élevage (Tableau 4).

Tableau 4 : Synthèse des relations statistiques entre les mortalités ostréicoles estivales et les différents critères d'influence de l'eau douce en Baie des Veys (Sources MOREST).

Critère	Années prises en compte	Période d'intégration du signal	Coefficient de corrélation (R ²) avec les Mortalités estivales (année N)
PLUVIOMETRIE (cumul de précipitation mensuel)	10 ans 1996-2005	<i>sept (N-1) - mars (N)</i>	0,78 (**) P < 0,05
		<i>sept (N-1) - mai (N)</i>	0,83 (**) P < 0,05
		<i>sept (N-1) - août (N)</i>	0,83 (**) P < 0,05
DEBITS DES APPORTS (moyenne saisonnière)	9 ans 1994-2003	<i>sept (N-1) à août (N)</i>	0,74 (***) P < 0,01
SALINITE	6 ans 2000-2005	<i>mars (N) à mai (N)</i>	0,89 (**) P < 0,05
	11 ans 1996-2006	<i>Sept (N-1) à Avril (N)</i>	0,72 (***) P < 0,01

Parmi les différents critères retenus, les débits des apports et les variations de salinité ressortent comme les modèles les plus robustes ($p < 0,01$) vis-à-vis du risque de mortalités associé à

l'eau douce en Baie des Veys. Les mesures de débits des apports restent cependant les plus difficiles à obtenir (nous ne disposons pas des données au-delà de 2003). Au contraire, la salinité est un critère mieux adapté dans la mesure où 1) elle intègre l'ensemble des apports et des dilutions provoquées par le mélange des eaux et 2) sa mesure est réalisée en continu au contact direct des cheptels en élevage au moyen de sondes haute-fréquence depuis 1996 (TPS[®] Micrel/Nke, Marel-Estran[®], Smatch[®]).

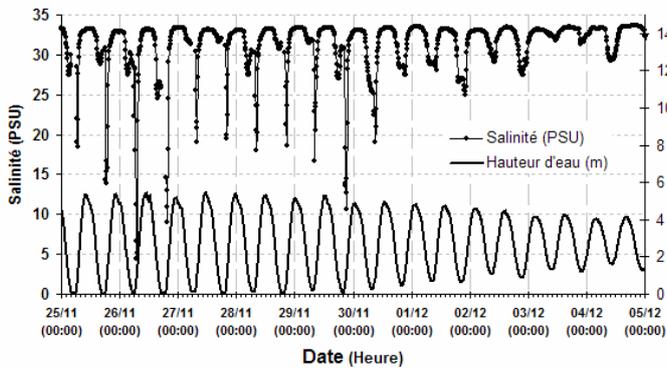


Figure 24 : Illustration des dessalures furtives intervenant en début de flot en Baie des Veys. (Fréquence de mesure : 10 minutes)

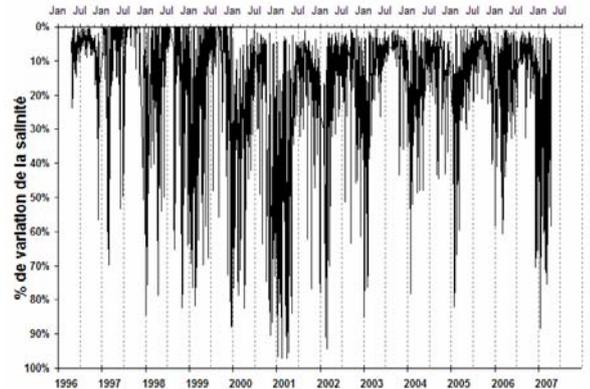


Figure 25 : Evolution pluri annuelle du pourcentage de variation de la salinité pour chaque cycle de marée entre juin 1996 et avril 2007 (*exprimé en pourcentage de variation par rapport à la salinité maximum observée à pleine mer*).

L'influence de l'eau douce en Baie des Veys se traduit par des "dessalures" pouvant être importantes (jusqu'à 90 % de la salinité maximum à pleine mer) mais furtives (quelques dizaines de minutes) (Figure 24). A une échelle pluri annuelle, le phénomène montre une forte variabilité saisonnière (Figure 25).

Depuis 1996 les "dessalures furtives" sont enregistrées en continu. Pour chaque cycle de marée, l'amplitude (% de variation de la salinité) et la durée du phénomène sont calculées (Figure 25).

Pour mettre en relation ce signal haute fréquence de dessalure avec les niveaux de mortalité observés sur le terrain, il est nécessaire de pouvoir l'intégrer sur une même échelle temporelle annuelle. La méthodologie retenue consiste à cumuler les amplitudes de variation de salinité sur différentes périodes de l'année afin de tester et d'optimiser un modèle de régression linéaire simple reliant la mortalité estivale et le cumul de dessalures (Figure 26).

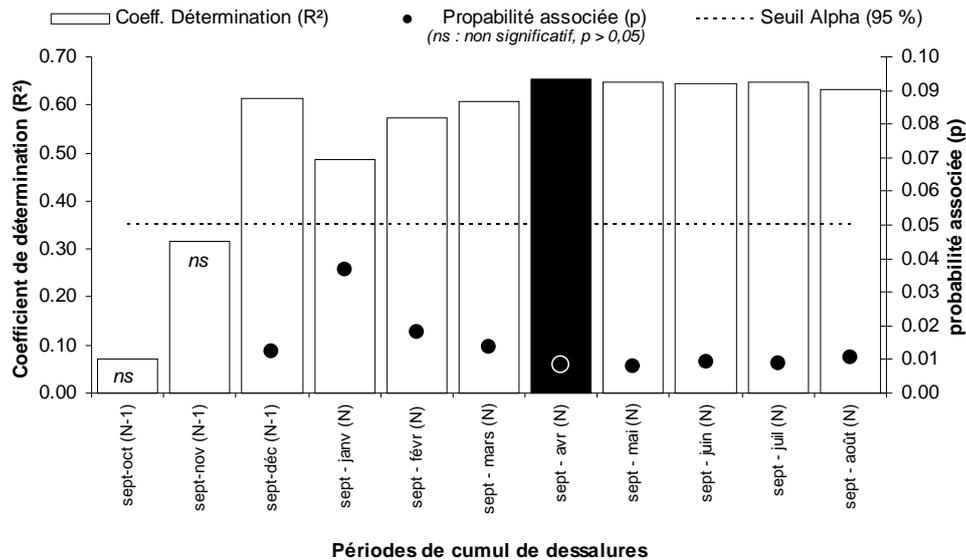


Figure 26 : Résultats des analyses de régression entre l'intégration du cumul de dessalures sur différentes périodes (abscisse) et les taux de mortalités estivales observées l'été suivant (année N).

Sur la période 1996-2006 (11 ans), la relation entre les dessalures et les mortalités devient significative à partir du troisième mois d'intégration du signal (sept-déc) (Figure 26). Cette relation s'améliore légèrement ensuite pour atteindre un maximum au mois d'avril ($R^2=0,66$; $p=0,004$) qui semble constituer une date charnière au-delà de laquelle l'information apportée par les dessalures n'améliore pas la précision du modèle.

L'intégration des signaux haute fréquence de dessalures apparaît donc comme un indicateur pertinent permettant, à partir du mois d'avril en baie des Veys, d'estimer le risque (en terme de mortalité) associé au facteur "eau douce". Il ne s'agit pas d'essayer de quantifier ou de prédire les niveaux de mortalité mais d'évaluer, de manière qualitative, le niveau de risque en regard des données accumulées au fil des ans. Le caractère cumulatif de cet indicateur présente l'avantage de pouvoir identifier des tendances dès l'hiver, tendances qui vont ensuite se préciser jusqu'au mois d'avril.

Pour l'année 2007, la Figure 27 permet d'identifier le cumul des dessalures atteint pour la période comprise entre septembre 2006 et avril 2007 (ligne verticale rouge sur la figure). Les points noirs symbolisent ce même cumul pour les années 1996 à 2006. La droite représente la relation mise en évidence entre le cumul des dessalures et le niveau des mortalités observées sur le terrain au cours de l'été suivant. Une échelle relative à trois couleurs a été définie pour fixer un niveau de risque faible (vert), moyen (orange) ou fort (rouge).

Contrairement aux années antérieures (2004 à 2006 caractérisées par des mortalités faibles inférieures à 10 %), le contexte hydrologique rencontré en 2007 est très différent. Il faut remonter à l'année 2002 (mortalités supérieures à 20 %) pour trouver une configuration similaire en terme d'influence de l'eau douce au sein de cet écosystème. Aussi, les gestionnaires du DPM ont reçu cette information dès le début du mois de mai 2007.

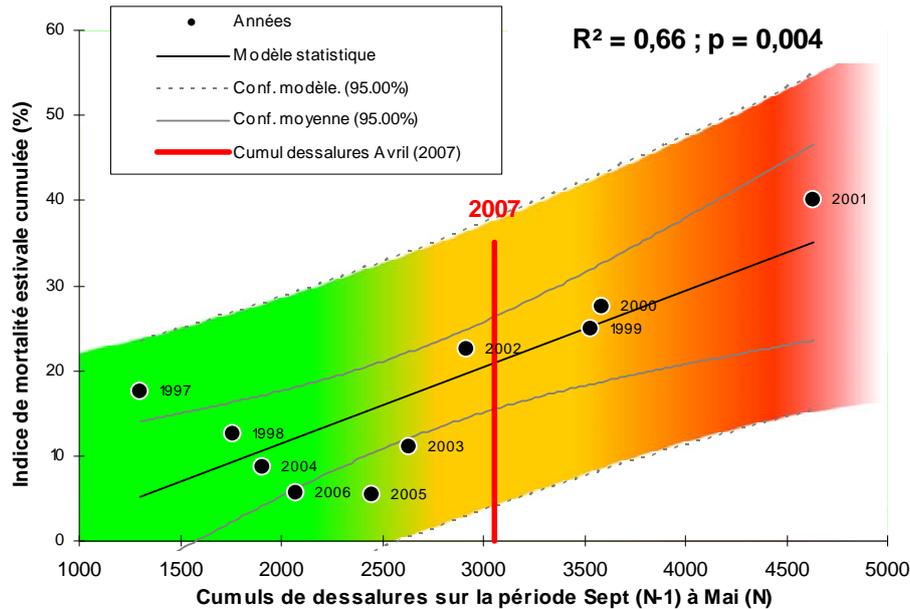


Figure 27 : Identification du niveau d'influence des dessalures en avril 2007 (rouge) par rapport au même indicateur les années antérieures, en regard des niveaux de mortalités estivales observés en Baie des Veys au cours de l'été suivant.

Les premières mortalités ostréicoles sont apparues au début du mois d'août 2007. Elles ont progressé très rapidement à partir de la troisième semaine pour atteindre un maximum vers la mi-septembre. Le niveau « normal » des mortalités n'a été retrouvé qu'au début du mois de novembre. Les pertes globales subies par les entreprises à l'échelle de la baie (28 % en moyenne) masquent une grande variabilité spatiale entre la partie sud et estuarienne du bassin (jusque 70 % de pertes) et la partie nord, plus marine et quasiment épargnée par le phénomène (<10 %). L'analyse des enregistrements haute fréquence a permis de comprendre et d'expliquer l'enchaînement des événements qui ont conduit à cet épisode (Figure 28).

Au cours du mois de juillet 2007, le bilan pluviométrique atteint des records (+ 205% au dessus de la norme). Les crues se succèdent induisant dans le milieu de très fortes variations de salinité. Malgré ces sources potentielles de stress, les cheptels en élevage ne présentent pas de signes visibles de faiblesse.

A compter de la première semaine du mois d'août, la température de l'eau atteint le seuil de 19°C, identifié comme le premier facteur intervenant dans le déclenchement des mortalités (Ropert et *al.*, 2007). Les conditions climatologiques sont plus calmes (pluviométrie faible) et les paramètres du milieu sont plus réguliers. A cette période, les premiers signes de mortalité restent à des niveaux faibles.

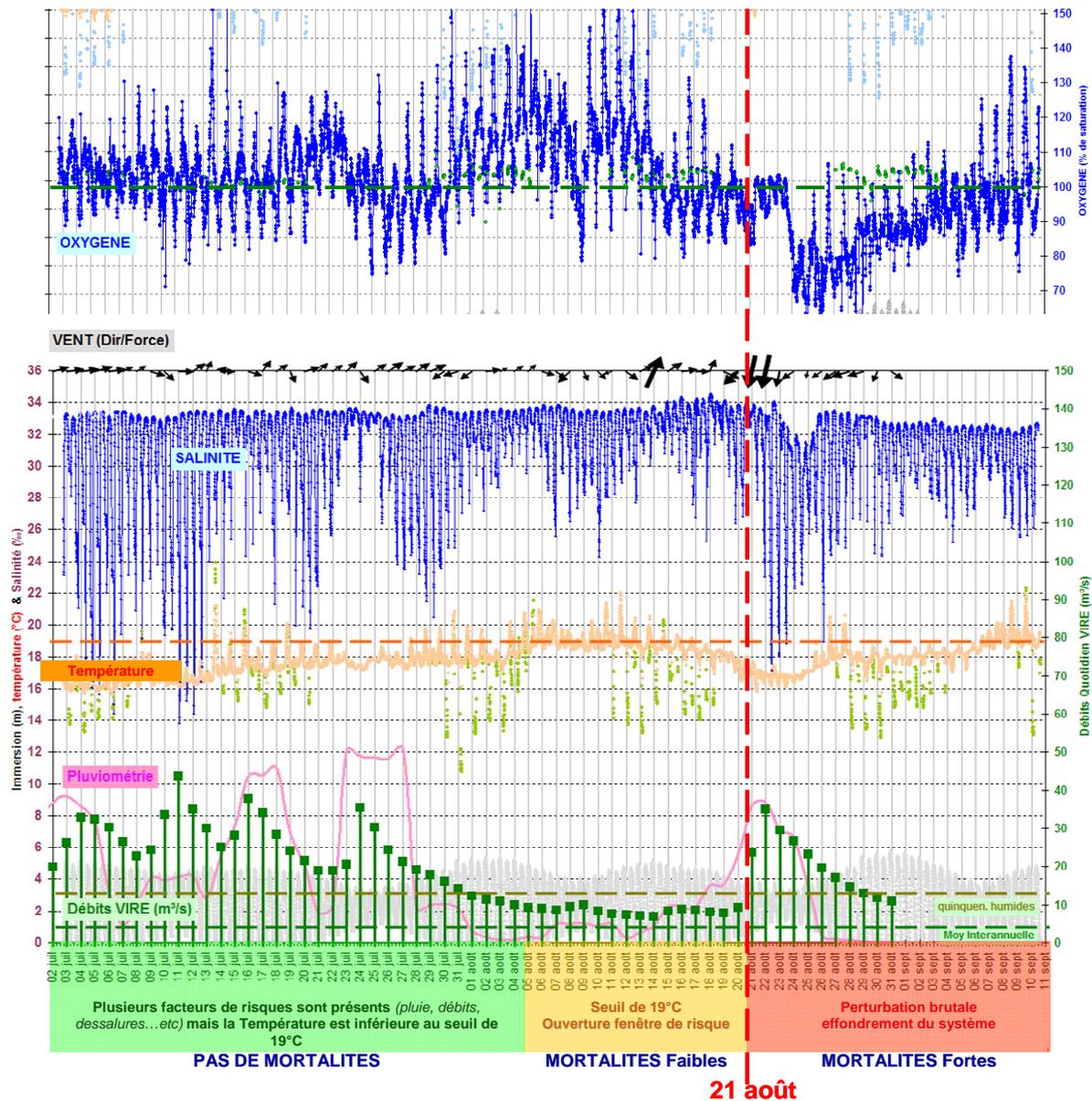


Figure 28 : Enregistrements haute fréquence (10 minutes) réalisés au cours de l'été 2007 illustrant l'enchaînement des processus qui ont accompagné les mortalités ostréicoles en baie des Veys.

A partir du 15 août, un changement climatologique intervient. La température des masses d'eau chute rapidement jusque 3°C en dessous de la normale. Le 21 août, une crue survient à laquelle s'ajoute une tempête violente de secteur nord-est au caractère totalement inhabituel à cette saison en baie des Veys. L'apport massif d'eau douce induit dès le 22 août d'importantes variations de salinité (jusque 50 ‰). Par leur orientation, les vents vont contribuer à piéger les masses d'eau douce à l'intérieur de la baie. Par leur force (> 20 m/s les 21 et 22 août), ils vont contribuer au mélange et à la dispersion, au sein de la baie, des produits apportés par la crue (volume d'eau douce enrichi du bouchon vaseux chargé de matière organique). Les faibles coefficients de marée sur cette période vont aggraver le phénomène en augmentant encore les temps de résidence. Cette conjonction d'évènements entraîne une diminution de la salinité à pleine mer qui va s'accompagner d'une chute sensible des teneurs en oxygène dissous des masses d'eau. Cette situation va se prolonger jusqu'au début du mois de septembre alors que les conditions climatologiques retrouvent un caractère plus normal et la température de l'eau atteint à nouveau le seuil de 19°C.

D'un point de vue biologique, l'été correspond chez l'huître à la fin du cycle de maturation sexuelle et la ponte. Les animaux sont plus sensibles à différentes sources de stress au cours de cette période. Il est donc probable que les évènements observés dans le milieu à partir de la mi-août aient constitué autant de sources de stress auxquelles les cheptels les plus fragilisés n'ont pu faire face.

Participants

Sur le plan technologique, le développement du système MAREL-ESTRAN est réalisé par le département TSI-DM de l'Ifremer situé à Brest. L'acquisition des données hydrologiques haute fréquence est assurée par le LERN (mise en œuvre du matériel sur le terrain, vérification et contrôles métrologiques, validation, traitement et exploitation des données).

3.1.4. Sous-tâche A14 : Bathymétrie des zones conchyloles

L'ensemble du travail réalisé dans le cadre de cette sous-tâche est détaillé au paragraphe 2.1.3.

Il a été réalisé intégralement par le LERN.

3.2. Tâche A2 : Evaluation des biomasses de filtreurs

3.2.1. Sous-tâche A21 : Filtreurs en élevage (complément au paragraphe 2.1.2.)

Le premier objectif de l'évaluation des stocks était d'estimer les biomasses totales de moules et d'huîtres en élevage, assorties d'une précision.

Les résultats ont permis d'évaluer à 23 300 tonnes \pm 1 290 tonnes (écart-type, soit une précision de 10,9 %) les moules en élevage dans le département de la Manche (élevage exclusivement sur bouchots) et à 240 tonnes \pm 9,5 tonnes (écart-type, soit une précision de 7,8 %) les moules en élevage dans le département du Calvados (élevage exclusivement en poches) (Figure 29). Les secteurs les plus dédiés à l'élevage mytilicoles sont ceux d'Agon et de la Vanlée, sur la côte ouest du Cotentin, et qui contiennent plus de 60 % de la biomasse totale en élevage en Basse-Normandie.

L'évaluation des biomasses ostréicoles est encore en cours de traitement actuellement. Il sera achevé pour la mi-2008 (cf. paragraphe 2.1.2).

Participants

Le LERN a assuré ces évaluations depuis la définition des stratégies d'échantillonnage, la collecte des données sur le terrain et le traitement statistique. Les prises de vue aériennes ont été sous-traitées à la société SPHAIR. Le SMEL a contribué à la collecte des données sur le terrain.

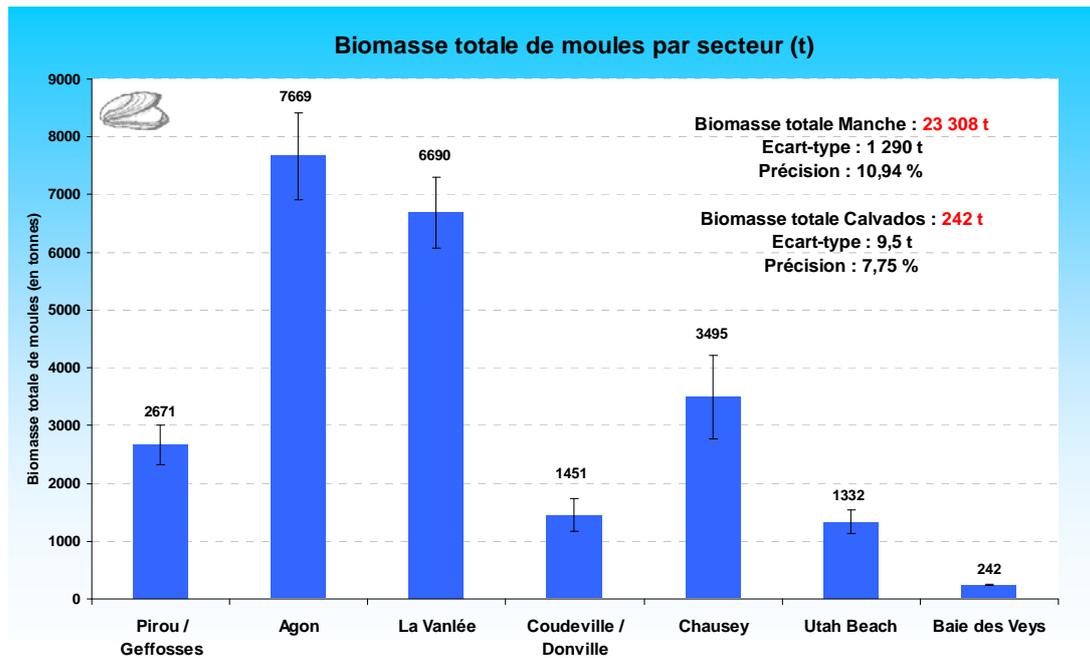


Figure 29 : Evaluation des stocks mytilicoles par secteur en 2006.

3.2.2. Sous-tâche A22 : Filtreurs sauvages

Les travaux entrepris par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Manche entre 1999 et 2002 sur la connaissance des gisements naturels de petits bivalves en Basse Normandie ont été poursuivis dans le cadre d'une nouvelle étude menée entre juin 2004 et avril 2007. Cette étude était articulée autour de trois axes :

- 1) mieux connaître la ressource, en termes de suivi et évaluation des densités, des biomasses, de la structure en âge des populations, d'estimation des vitesses de croissance, du recrutement et des mortalités sur chacun des sites d'étude retenu,
- 2) mieux connaître la pression de pêche avec la mise en place d'outils et de protocoles nécessaires à l'évaluation de la pression de pêche et des propositions de gestion des gisements,
- 3) évaluer le risque sanitaire, par un suivi sanitaire des produits avec la recherche des paramètres microbiologiques (entérocoques, *Escherichia coli*, virus), chimiques (principaux métaux lourds, pesticides), des radioéléments, et l'évaluation de l'exposition des populations humaines.

La participation du LERN s'est limitée à une aide quant au premier axe de cette étude. Cette aide a principalement concerné la méthodologie mise en place. L'objectif initial était d'évaluer les biomasses de filtreurs. Cependant, compte tenu des moyens disponibles à la DDASS et du grand nombre de sites retenu (neuf au total), il n'était pas possible de mettre en œuvre sur le terrain la méthodologie répondant à cet objectif. Aussi, la même méthode que lors des précédentes études a été conservée permettant uniquement des évaluations de biomasses et de densités partielles et ponctuelles sur les gisements.

Suite à cette étude, un appel d'offres a été diffusé par le Comité Régional des Pêches Maritimes de Basse Normandie visant à recentrer les efforts sur deux grands gisements : le gisement de coques en baie des Veys et le grand gisement de palourdes sur la côte ouest du Cotentin. L'objectif serait alors d'évaluer de manière précise la biomasse totale de ces filtreurs à un

moment donné. Le LERN ne s'est pas positionné sur cet appel d'offres mais reste intéressé par la communication de ces résultats lorsqu'ils seront acquis.

Participants

L'université de Caen a assuré la maîtrise d'ouvrage de cette étude tandis que la DDASS de la Manche en a assuré la maîtrise d'œuvre. Le LERN a participé au groupe de travail sur la partie ressource et aux différents comités de pilotage. Il a également fourni une aide en matière de traitement statistique des données.

3.3. Tâche A3 : Ecophysiologie des filtreurs en élevage

L'objectif de cette tâche était de développer un modèle d'écophysiologie de type DEB qui fonctionne pour les filtreurs élevés dans les différents écosystèmes de Normandie. Ce modèle est développé par le département de Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins (PFOM) de l'Ifremer, qui travaille à l'échelle de l'ensemble des sites conchylicoles de France. Le LERN contribue à l'application de ce modèle pour la Basse-Normandie. Le département PFOM a réalisé de nombreuses expérimentations en conditions contrôlées qui ne seront pas détaillées dans le présent rapport mais qui ont contribué à améliorer nettement la paramétrisation du modèle pour l'huître creuse (Bourlès et al., 2007 ; Pouvreau et al., 2006 ; 2007). Sur la base de cette paramétrisation, le code de calcul du modèle a été transféré au LERN au cours de l'été 2007. Le modèle a d'abord été appliqué à la baie des Veys puis il a été couplé au modèle d'écosystème de la baie pour établir des premières recommandations en terme de capacité de support trophique. Ces résultats sont détaillés dans le paragraphe 2.2.

Une seconde application a été menée sur l'ensemble des écosystèmes de Basse-Normandie. Le modèle a été calibré sur les données du réseau REMONOR. Les variables forcées utilisées sont la concentration en chlorophylle *a* comme source de nourriture pour l'huître et la température de l'eau. Ces deux variables sont issues de mesures réalisées dans le cadre du réseau RHLN (Réseau Hydrologique du Littoral Normand) du LERN ou bien du réseau HYDRONOR conduit par le SMEL. La nécessité de disposer à la fois de suivis de croissance et de variables environnementales nous a conduit à réaliser cette application sur 13 sites de Basse-Normandie et sur 4 années au maximum (2002, 2003, 2004 & 2005), variables suivant les sites (Figure 30). Un total de 46 jeux de données a finalement pu être utilisé. Sans détailler la méthode, le paramètre qui a été calibré (*i.e.* ajusté) entre dans la détermination de la quantité de nourriture (ici la chlorophylle *a*) ingérée par l'huître (Figure 18). Ce paramètre est nommé X_k . Dans cette application, l'objectif était d'examiner si ce paramètre était susceptible de varier en fonction des bassins de production et donc s'il était possible de différencier les bassins suivant ce critère. Les résultats montrent effectivement des différences de valeurs du paramètre calibré entre les grands bassins de production (côte ouest, côte est du Cotentin, baie des Veys) mais également entre les années. Deux exemples de résultats sont illustrés sur les Figure 31 et 32. Par exemple, l'année 2003 est atypique en terme de croissance mais également en terme environnemental. Cette année montre des valeurs de concentrations en chlorophylle *a* et de X_k sensiblement supérieures aux autres années. Concernant le paramètre X_k , les valeurs les plus fortes sont obtenues sur la côte est du cotentin, elles sont intermédiaires sur la côte ouest et plus faibles en baie des Veys, toutes années confondues. Parallèlement, les concentrations moyennes et maximales annuelles en chlorophylle *a* sont les plus fortes sur la côte est du Cotentin, intermédiaires en baie des Veys et les plus faibles sur la côte ouest du Cotentin, toutes années confondues. Sans que cette variation ne soit encore complètement expliquée, ces résultats

confirment l'existence de différences marquées entre les différents bassins de production bas-normands. Cependant, les valeurs moyennes du paramètre X_k n'allant pas dans le même sens que les valeurs de chlorophylle, cela signifie qu'une part de la valeur de X_k n'est pas seulement expliquée par la concentration en chlorophylle. Une part de la variation du X_k est probablement à rechercher au niveau de la qualité de la nourriture et pas seulement au niveau de la quantité. Il apparaît alors nécessaire, à l'avenir, d'utiliser un autre paramètre que la concentration en chlorophylle a pour représenter la nourriture des huîtres.

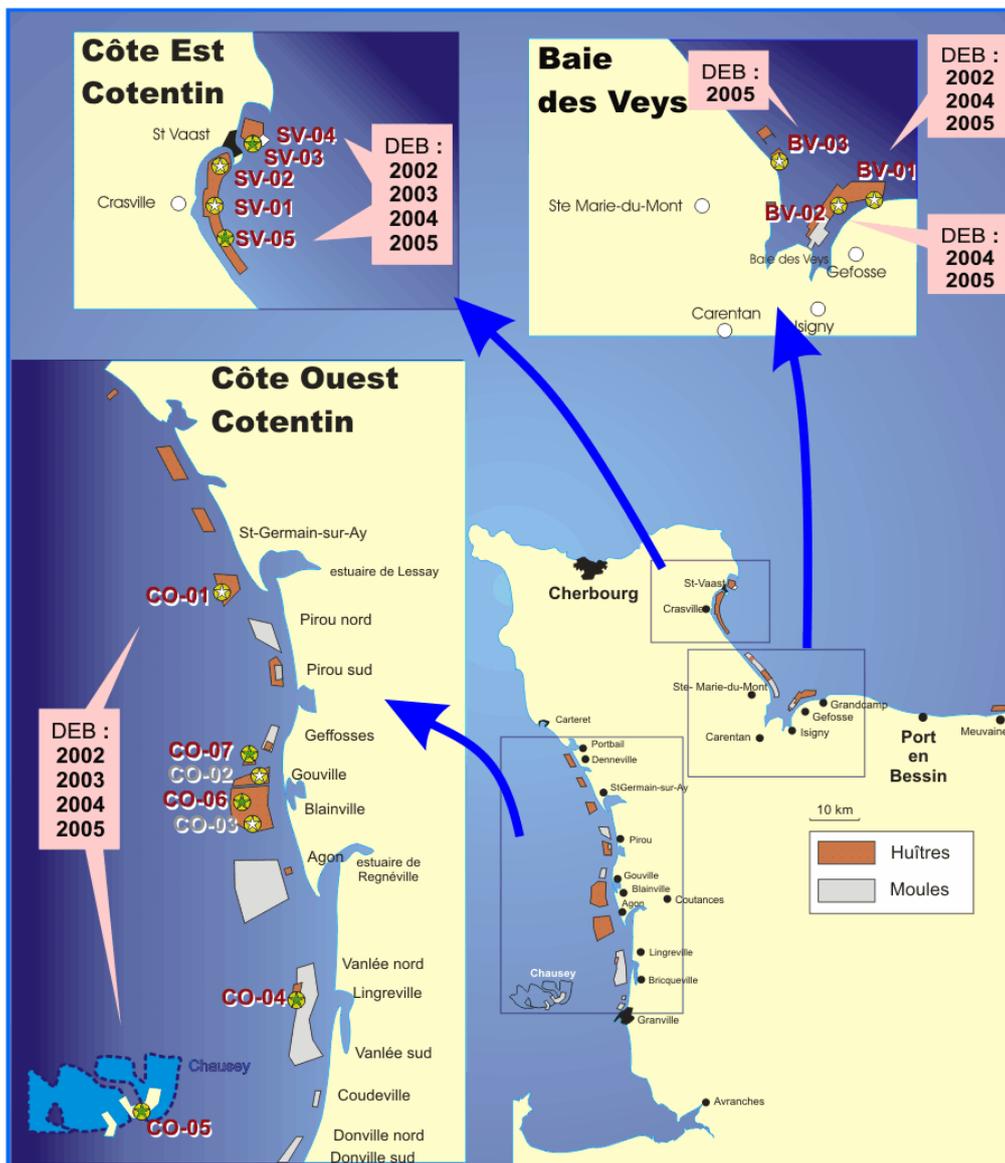


Figure 30 : Sites & années ayant pu être testés pour l'application du modèle DEB.

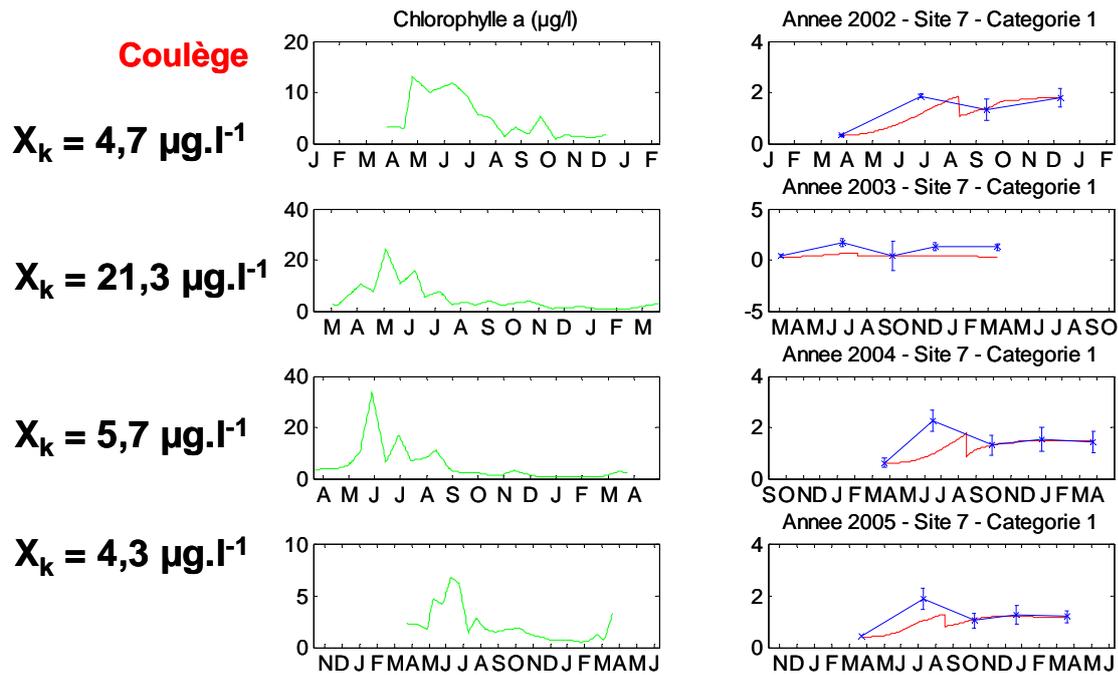


Figure 31 : Concentration en chlorophylle *a* mesurée (à gauche) et ajustement du modèle DEB sur les données REMONOR (à droite ; observations en bleu et simulation en rouge) du site de la Coulège, sur la côte est du Cotentin, après calibration du paramètre X_k .

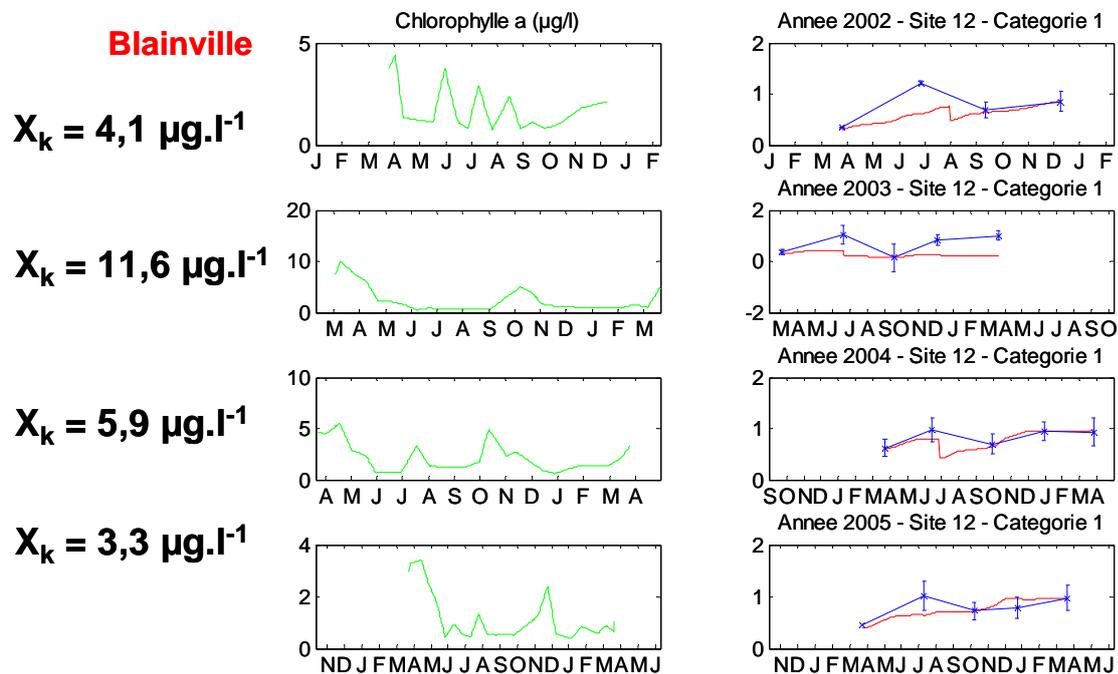


Figure 32 : Concentration en chlorophylle *a* mesurée (à gauche) et ajustement du modèle DEB sur les données REMONOR (à droite ; observations en bleu et simulation en rouge) du site de Blainville, sur la côte ouest du Cotentin, après calibration du paramètre X_k .

Un modèle DEB est actuellement en cours de paramétrisation pour la moule.

Participants

Le département PFOM de l'Ifremer et le LERN ont assuré la réalisation de cette tâche.

3.4. Tâche A4 : Influence des filtreurs sur l'environnement

Le but de cette tâche était de quantifier *in situ* la production de biodépôts par les huîtres en élevage. La dynamique temporelle de la biodéposition a été abordée *via* une campagne annuelle de mesures menées sur le site pilote de la baie des Veys.

L'intérêt de pouvoir évaluer l'activité de biodéposition des mollusques en élevage est double. D'une part, à l'échelle de l'animal, cette activité est directement reliée à son comportement alimentaire. La quantification de l'activité de biodéposition constitue donc une variable exploitable dans le cadre de la connaissance des processus physiologiques. D'autre part, dans une perspective plus environnementale, la biodéposition contribue au piégeage de la matière particulaire fine en suspension (MES), comprenant le phytoplancton, qui va être transformé en fécès et pseudo-fécès, produits respectivement issus de la digestion et de la filtration. Ces particules, plus grosses que le phytoplancton d'origine, se caractérisent par un pouvoir de sédimentation plus important. Elles vont donc, localement, contribuer à enrichir le sédiment en matière organique et en particules fines (<63 µm). La biodéposition devient alors potentiellement un facteur d'envasement des sites, susceptible de modifier les caractéristiques des sédiments (Sornin, 1981).

Sur un plan quantitatif, les travaux de Sornin (1981, 1982) montrent qu'une huître peut rejeter jusque 10 à 15 g de biodépôts par jour (en poids sec) en fonction de sa taille et de la turbidité de l'eau. En tenant compte des biomasses en élevage à Marennes-Oléron, cet auteur estime alors que la production de biodépôts varie entre 480 g/m²/jour, en juin, et 6 600 g/m²/jour, en février (turbidité plus élevée), pour une densité de 200 huîtres/m².

Par ailleurs, les pics de biodéposition sont directement liés aux périodes de production de phytoplancton ainsi qu'à la période post-reproductive (Sornin, 1981 ; Hayakawa *et al.*, 2001). En effet, après leur période de reproduction, les huîtres ont une activité de filtration qui augmente afin de compenser les pertes énergétiques. Cette augmentation de la filtration implique alors une augmentation de la production de biodépôts.

Méthodes

La méthodologie développée est inspirée de celle de Sornin (1981). Le collecteur est constitué d'un flacon adapté sur un large entonnoir (Figure 33A). L'ensemble est fixé par des élastiques directement sur la structure d'une table ostréicole (Figure 33B). Le collecteur est surmonté d'une cage contenant un ou plusieurs individus dont on cherche à quantifier l'activité de biodéposition (Figure 33C).

Les collecteurs sont placés sur le terrain à basse mer pour une période de 24 heures. Au total, huit collecteurs sont utilisés. Quatre d'entre eux sont garnis d'huîtres (4 individus) alors que les 4 autres ne reçoivent que des coquilles vides et sont destinés à servir de témoins de sédimentation. Lors du relevage, les flacons sont récupérés. Toute activité biologique (*e.g.* phytoplancton, algues, zooplancton) est neutralisée par ajout de 1 ml de chloroforme avant stockage pour traitement au laboratoire.



Figure 33 : Collecteurs à biodépôts développés dans le cadre du projet OGIVE (A : ensemble du collecteur ; B : positionnement des collecteurs *in situ* ; C : vue de dessus d'un collecteur).

Au laboratoire, le contenu des flacons est filtré sur un tamis de 5 mm pour extraire les débris végétaux et micro-organismes susceptibles de s'être introduits dans l'échantillon. Les matières particulaires sont isolées par décantation (24 h), élimination du surnageant puis séchage (48 h) et lyophilisation (72 h). Le produit de chaque flacon est alors pesé. Le taux de matière organique est ensuite mesuré par perte au feu (2 h à 450 °C).

Un premier traitement des données a consisté à analyser les différences entre les collecteurs témoins et les collecteurs avec huîtres à chaque date de mesure. Pour cela, le test non paramétrique de type Mann-Whitney a été utilisé et l'hypothèse (H0) selon laquelle les quantités retenues dans les collecteurs témoins ne sont pas inférieures à celles retenues dans les collecteurs avec huîtres a été testée. Le rejet de cette hypothèse permet de conclure à une activité de biodéposition significative et d'estimer la quantité de biodépôts produite par individu et par jour.

Résultats

Un total de 10 campagnes de mesures a pu être réalisé. Deux campagnes ont été menées en 2006 afin de tester les collecteurs tandis que les autres ont été organisées entre les mois d'avril et d'octobre 2007.

Aux mois d'avril, mai et octobre 2007, les différences de quantité observées entre les collecteurs témoins et ceux avec huîtres ne sont pas statistiquement significatives. Ces trois périodes correspondent aux plus fortes quantités de matières particulaires piégées dans les collecteurs, que ce soit dans les collecteurs témoins ou ceux avec des huîtres (Tableau 5). Cette sédimentation élevée est à mettre en relation avec des conditions hydrodynamiques fortes, qui favorisent localement les remises en suspension. Dans ces conditions, l'activité de biodéposition reste mineure en regard de ce processus.

Tableau 5 : Quantité de matière particulaire récoltée en 24 heures dans les différents collecteurs disposés sur le terrain en 2006 et 2007.

	Témoïn de sédimentation				Collecteur avec huîtres				Différence Validée (*)
	Nb collecteur	Moy (g)	Min (g)	Max (g)	Nb collecteur	Moy (g)	Min (g)	Max (g)	
26 juin 2006	3	60,2	59,7	61,2	4	65,1	62,6	67,7	p=0,017(**)
28 août 2006	3	83,8	81,1	86,7	3	87,8	86,8	88,4	p=0,025(**)
16 avr 2007	4	128,0	120,9	130,7	4	133,5	126,5	145,9	p=0,282(ns)
14 mai 2007	4	407,7	348,0	515,9	5	446,1	374,5	541,4	p=0,164(ns)
31 mai 2007	4	22,0	21,1	23,6	5	23,9	22,4	24,9	p=0,025(**)
02 juil 2007	4	61,8	60,0	63,9	5	70,4	67,5	72,8	p=0,007(**)
30 juil 2007	3	35,8	34,8	36,4	5	41,7	37,6	44,6	p=0,013(**)
28 août 2007	3	110,4	110,2	110,6	5	122,8	116,1	129,9	p=0,013(**)
24 sept 2007	3	111,1	105,5	115,0	5	116,7	115,0	121,1	p=0,026(**)
09 oct 2007	3	274,4	267,3	285,7	5	282,4	252,5	302,3	p=0,148(ns)

(*) : Test unilatéral de Mann-Whitney (H1: Moy Témoins < Moy. Collecteurs)

Pour l'ensemble des autres campagnes, il a été possible de déterminer les quantités de matières particulières attribuables aux huîtres (Figure 34).

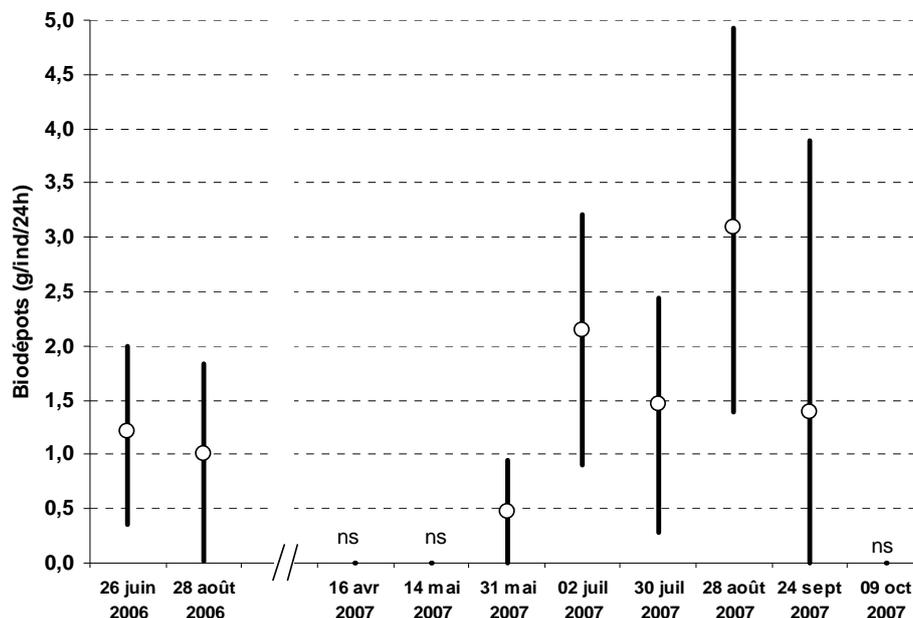


Figure 34 : Quantité de matière sèche produite par jour et par individu au travers de l'activité de biodéposition (moyenne \pm min/max pour des individus d'environ 30 g ; ns : pas d'activité significative de biodéposition, $p > 0.05$).

Les quantités moyennes de biodépôt mesurées varient entre 0,5 et 3 g/ind/24h mais les résultats montrent une forte variabilité entre les collecteurs. Les données ne permettent pas de mettre en évidence l'existence d'une véritable saisonnalité. Toutefois, ils vont dans le sens d'observations déjà réalisées montrant des niveaux d'activité de biodéposition plus importants en fin

d'été, lorsque l'animal termine son cycle de reproduction (Lambert et *al.*, 2007). Cette période se distingue par des besoins énergétiques importants qui pourraient se traduire par une augmentation de l'activité de filtration.

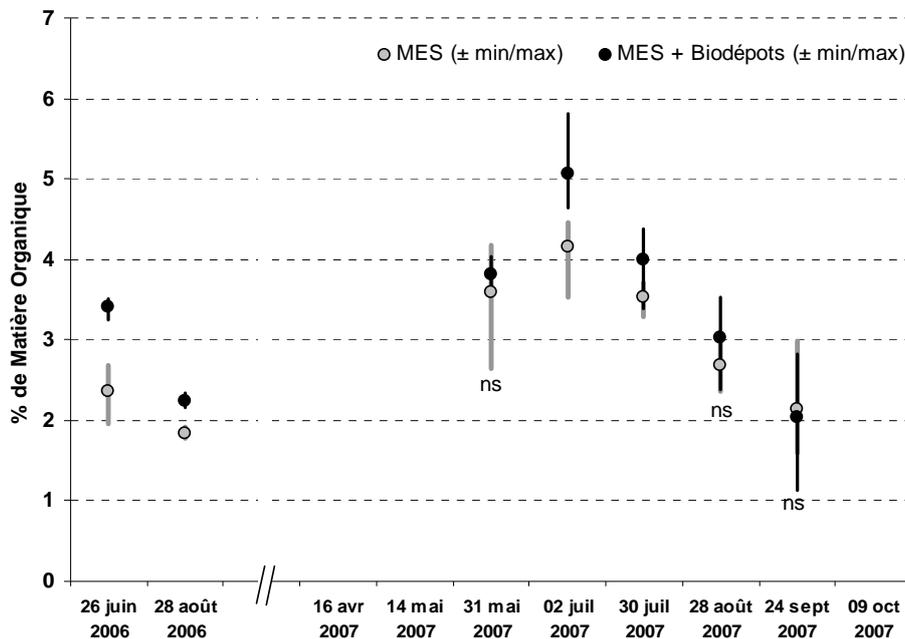


Figure 35 : Comparaison des teneurs en matière organique respectives des MES issus des collecteurs témoins (MES) et de ceux avec huîtres (MES + Biodépôts) encadrés des gammes de variation (min/max) mesurées (ns : Différences non significatives ($p > 0.05$)).

Les mesures des teneurs en matière organique des collecteurs (Figure 35) témoignent d'un enrichissement lié aux biodépôts uniquement lors des campagnes de juin et août 2006 et de juillet 2007. Les différences observées lors des autres campagnes ne sont pas significatives, probablement du fait de quantités de matières en suspension trop importantes (>100 g en août et septembre 2007).

Cette première approche *in situ* de la mesure de l'activité de biodéposition en baie des Veys présente une gamme de production (0,5 à 3,1 g/ind/24h) nettement inférieure à celle mentionnée dans la littérature (Sornin, 1981). Cependant, elle reste non négligeable à l'échelle de l'écosystème. A raison de 6 000 poches par hectare, contenant en moyenne chacune 180 individus, la quantité de biodépôts produite en 24 heures varierait de 500 kg/ha à 3,2 tonnes/ha. Ces estimations doivent être relativisées dans la mesure où 1) l'activité de biodéposition ne crée pas de matière particulaire nouvelle mais se limite à transformer et agréger celle déjà présente dans le milieu, et 2) la majeure partie des particules produites vont être exportées en dehors du système *via* les processus hydrodynamiques. Toutefois, ces processus ne doivent pas être ignorés dans le cadre d'une approche globale du fonctionnement d'un écosystème conchylicole.

Compte tenu des résultats obtenus, il convient aujourd'hui d'avoir une réflexion autour de la mise en œuvre, l'analyse, le traitement et l'exploitation de ces données. En effet, la mise en œuvre des collecteurs sur le terrain nécessite beaucoup de soin et de temps, en particulier lors de leur récupération. Le traitement au laboratoire est également exigeant et long (décantation, séchage puis lyophilisation), même si des améliorations peuvent être envisagées. De la même façon, la variabilité entre les différents collecteurs est importante (animaux ne répondant pas tous de la même manière,

influence des conditions météorologiques et hydrodynamiques), limitant la précision que l'on peut attendre de ces résultats.

Participants

L'ensemble de cette tâche a été menée localement par l'équipe du LERN depuis la fabrication des collecteurs jusqu'au traitement des données en passant par la mise en œuvre des suivis de terrain.

3.5. Tâche A5 : Apports des bassins versants

L'objectif de cette tâche était de réaliser une synthèse des données disponibles (débits et concentrations en nutriments) permettant de reconstituer les apports des principaux cours d'eau débouchant dans les écosystèmes conchylicoles et susceptibles d'avoir une influence sur les zones d'élevage. Ces données sont essentielles car elles entrent comme des variables forçantes dans les modèles d'écosystème (cf. paragraphe 2.2).

Une telle synthèse a été réalisée en 2003 pour la baie des Veys (Misko 2003). Ce travail a ainsi permis de reconstituer les flux de nutriments mensuels provenant des quatre cours d'eau principaux débouchant en baie (Vire, Aure, Douve et Taute) à partir de données de débits et de concentrations. Ces flux sont basés sur des données acquises entre 1994 et 2002. L'examen de ce travail a montré que les données étaient insuffisantes, notamment les données de concentrations en nutriments, anciennes et avec une fréquence de mesure insuffisante. Aussi, dans le cadre du projet, le LERN a sous-traité au Laboratoire Départemental Frank Duncombe une étude visant à réaliser des mesures hebdomadaires en sortie des 4 rivières débouchant dans la baie. Ces prélèvements ont été réalisés entre les mois de mai 2006 et avril 2007, à des sites précis, définis par le LERN et dont les coordonnées géographiques ont été transmises au Laboratoire Départemental. Les paramètres mesurés sur ces prélèvements sont les concentrations en ammonium, nitrate, phosphate, silicate, azote organique, phosphore organique, silice biogénique, matières totales en suspension, la température et la salinité (avec la nécessité qu'elle soit égale ou proche de 0). Les données doivent aujourd'hui être intégrées au modèle d'écosystème de la baie présenté au paragraphe 2.2. En effet, ce modèle fonctionne pour l'instant sur un jeu de données mesurées en 2002 et en 2003. Les données acquises en 2006-2007 permettront de tester le modèle sur un nouveau jeu de données et ainsi de tester sa sensibilité aux apports des bassins versants.

Un travail de synthèse des données existantes reste à mener sur les autres écosystèmes conchylicoles de Normandie. L'absence ou l'insuffisance de données utilisables en modélisation conduirait à examiner les possibilités de mise en place de nouvelles phases d'acquisition de données sur ces bassins. Ces études seront alors mises en place dans le cadre de la phase II du projet.

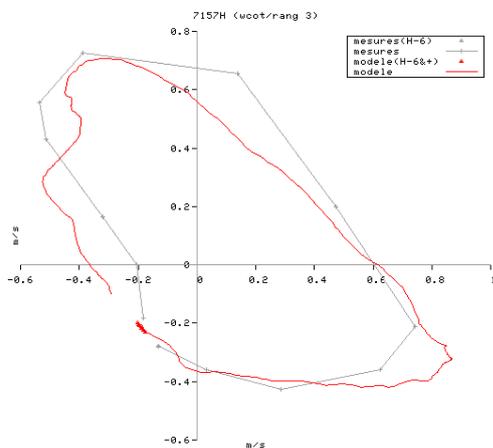
Participants

Le LERN, en tant que maître d'ouvrage, et le Laboratoire Départemental Frank Duncombe, en tant que maître d'œuvre, ont collaboré à la réalisation de cette tâche.

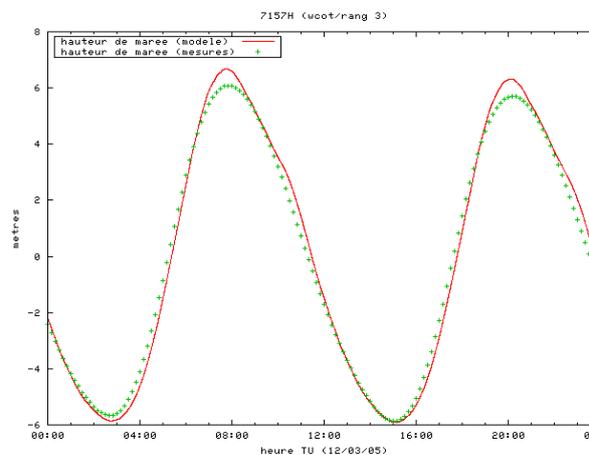
3.6. Tâche A6 : Validation des modèles hydrodynamiques

Dans le cadre du contrat de plan Etat-Région (2000-2006) et avec le soutien financier de la Région Basse Normandie, l'Agence de l'Eau Seine Normandie et les deux Conseils Généraux Manche et Calvados, le LERN s'est doté d'un ensemble de modèles hydrodynamiques couvrant le littoral bas normand afin de répondre à des avis, des expertises ou des études dans le domaine de l'aménagement de la bande côtière. Ces modèles hydrodynamiques 2D-3D (advection et dispersion) ont été développés à partir du code MARS (Model for Applications at Regional Scale).

Chaque modèle d'abord a été validé en advection selon la même méthodologie, en comparant les courants observés et ceux simulés par le modèle. Plusieurs sources de données de courant sont disponibles pour réaliser cette comparaison. Les cartes marine du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) présentent pour certains points de référence, des mesures de courants de marée en vive eau et morte eau ainsi que les hauteurs d'eau associées. Des comparaisons sont alors possibles avec les résultats du modèle (Figure 36).



a) Point 7157H des cartes marines côte ouest cotentin



b) Point 7157H des cartes marines côte ouest cotentin

Figure 36 : Comparaison entre les données de courant (a) et de hauteur d'eau (b) simulées et observées.

Sur des secteurs où les points de référence du SHOM ne semblent pas représentatifs de la courantologie locale (cas particuliers des baies ou des havres), des mesures *in situ* ont été réalisées à l'aide d'un courantomètre tracté ou fixe (Figure 37).



Courantomètre tracté



Courantomètre point fixe

Figure 37 : Courantomètres utilisés pour la validation.

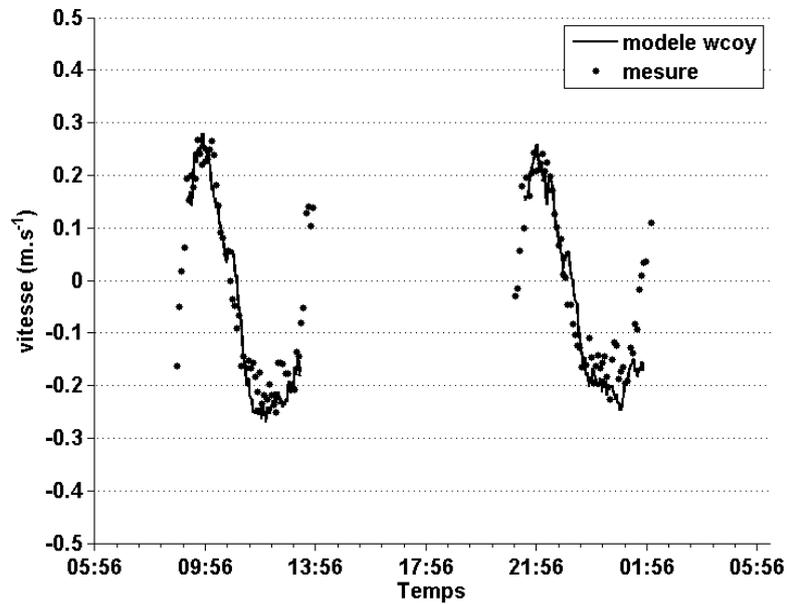


Figure 38 : Comparaison entre les données simulées et observées avec le courantomètre point fixe.

La Figure 38 présente la comparaison de l'intensité des courants sur 2 cycles de marée simulée par le modèle avec celle mesurée à l'aide d'un courantomètre point fixe placé à l'entrée d'un des havres de la côte ouest Cotentin. Dans le cadre d'une validation réalisée avec un courantomètre tracté, le bateau, sur lequel est fixé le matériel, parcourt une radiale de nombreuses fois sur un cycle de marée. La mesure ainsi enregistrée sur cette radiale est comparée aux résultats du modèle (Figure 39).

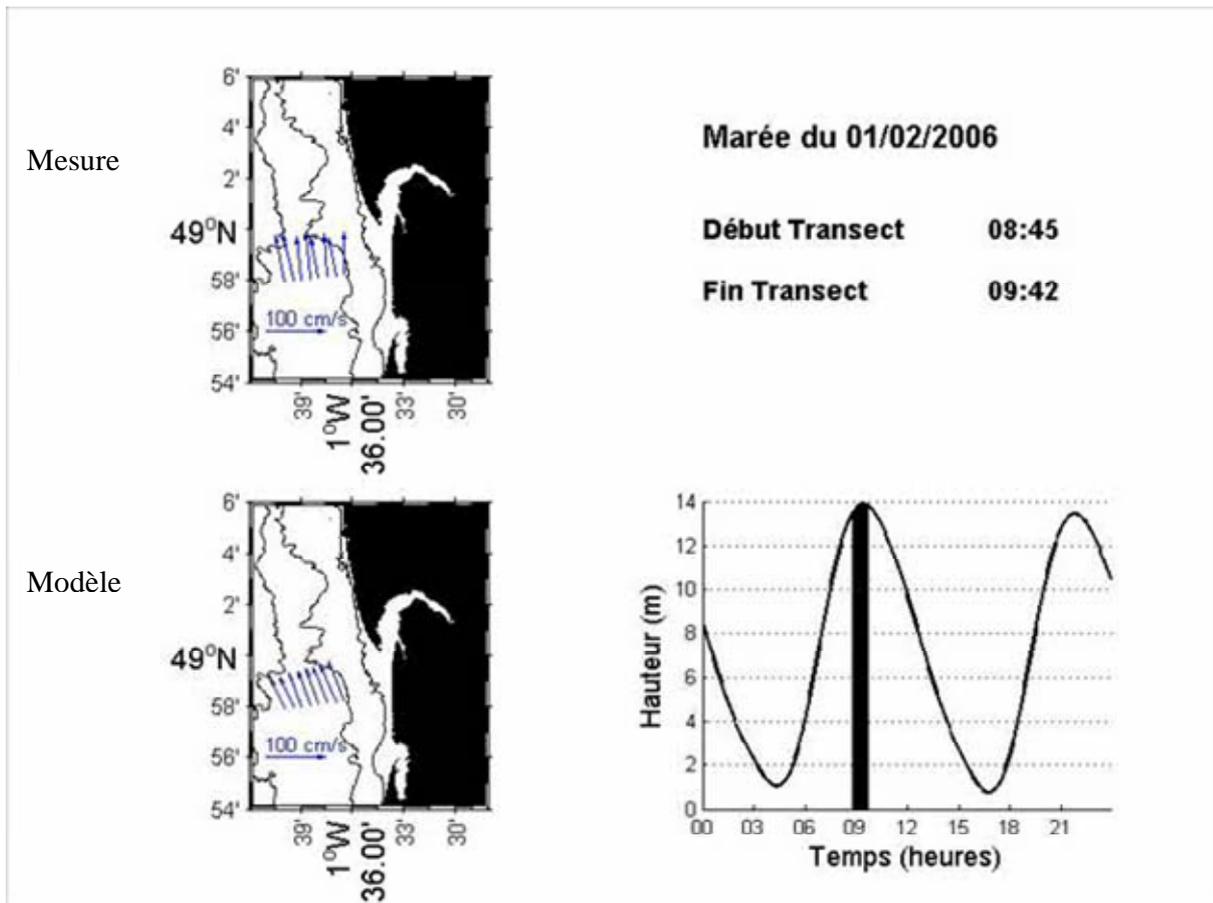


Figure 39 : Comparaison de courant obtenue avec le courantomètre tracté.

L'ensemble de ce travail a permis d'ajuster les paramètres du modèle (notamment le coefficient de frottement appelé coefficient de Strickler) afin que les courants simulés soient représentatifs des courants observés et mesurés *in situ*.

Il est également possible de valider le modèle hydrodynamique en dispersion. La validation porte alors sur un traceur conservatif tel que la salinité. En effet, le temps de survie dans l'eau de ce traceur étant infini, seule la dilution intervient dans le phénomène de dispersion. Le suivi de la salinité dans l'eau peut se faire au moyen d'une sonde immergée en permanence ou simplement au rythme des marées en zone intertidale. L'instrument de mesure est fixé à un flotteur (Figure 40). La mesure ainsi acquise peut-être comparée aux résultats du traceur salinité fourni par le modèle.

Après avoir testé différents paramétrages des coefficients de dispersion k_x et k_y du modèle, un ajustement du modèle est réalisé. La Figure 41 permet d'observer les comparaisons entre les mesures et les simulations avec l'ajustement optimal.

Participants

Le LERN ainsi que le département DYNECO de l'Ifremer ont réalisé l'ensemble des mesures et des traitements afférents à cette tâche.



Figure 40 : Bouée SMATCH permettant d'acquérir des mesures de salinité *in situ*.

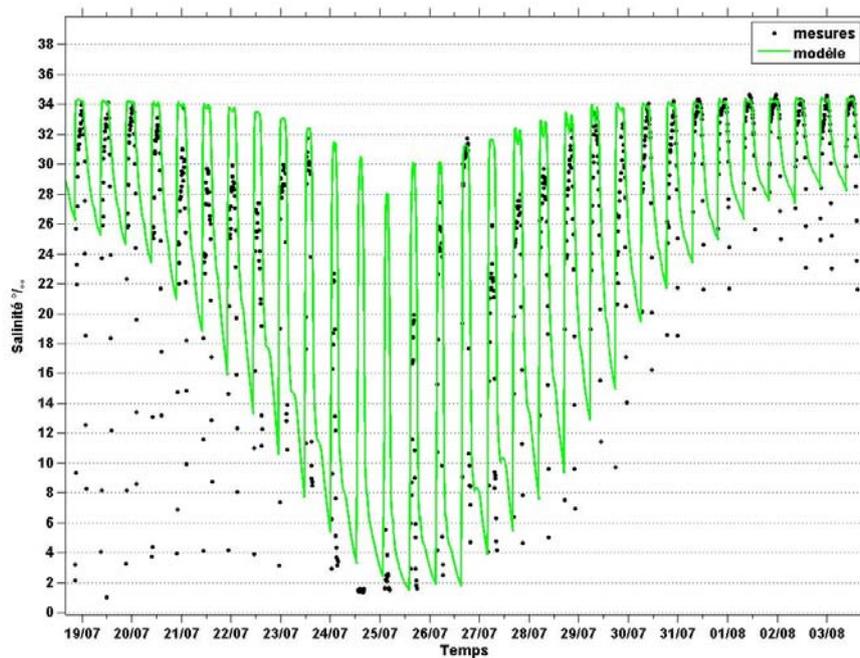


Figure 41 : Comparaison entre mesures et observations lors de l'ajustement de la dispersion.

3.7. Tâche A7 : Détermination des temps de résidence des masses d'eau

L'objectif de cette tâche était d'estimer le temps de résidence des masses d'eau dans chacun des écosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie. Ce paramètre est, en effet, indispensable au fonctionnement des modèles d'écosystème non spatialisés développés dans le cadre du projet (cf. paragraphe 2.2). Le temps de résidence d'un système correspond au temps que met une masse d'eau pour sortir du système en partant d'un endroit spécifique. Plusieurs méthodes peuvent être mises en

œuvre pour estimer ce paramètre. Dans notre cas, il a été choisi d'utiliser la méthode de décroissance exponentielle, implémentée au sein d'un modèle hydrodynamique (ceux développés dans la tâche A6). Un traceur inerte et conservatif est injecté uniformément dans un système à un instant donné, idéalement à marée haute et lorsque le volume du système est maximal. Le modèle permet de calculer l'évolution dans le temps des distributions de concentration du traceur et ce jusqu'à ce que la majeure partie de ce traceur soit éliminée. On suit alors la décroissance du traceur au cours du temps. Mathématiquement, il a été déterminé que le temps de résidence était obtenu lorsqu'il reste 37 % de la valeur de la concentration initiale du traceur dans le système.

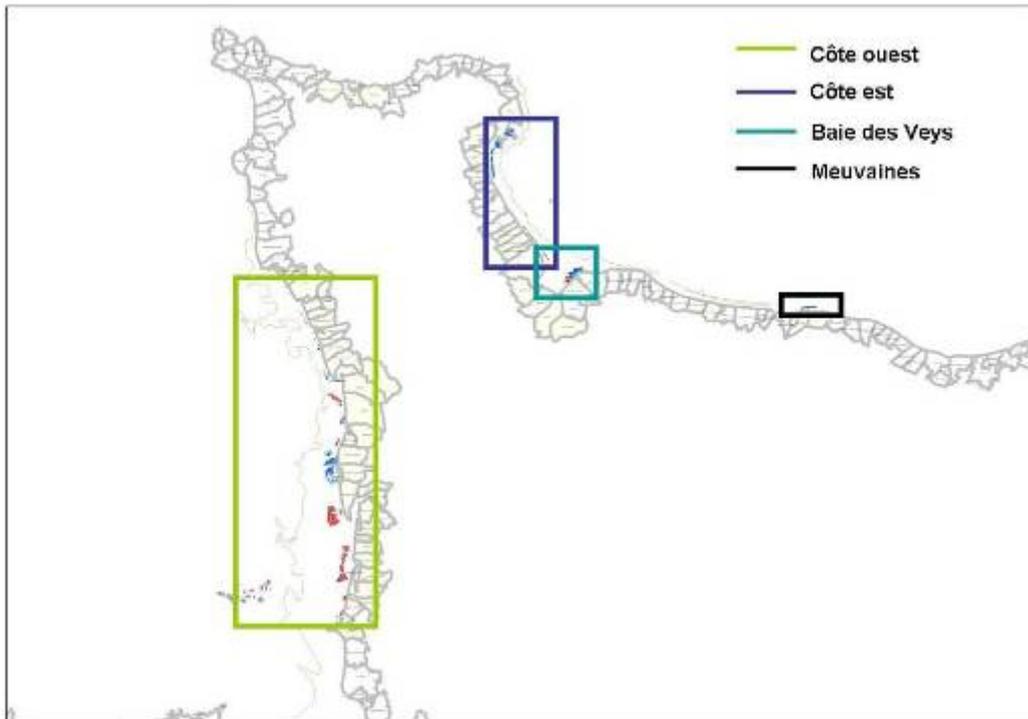


Figure 42 : Emprises géographiques pour lesquelles une première estimation des temps de résidence a été réalisée.

Après avoir implanté la méthode de calcul dans le code du modèle hydrodynamique, des premières simulations ont été réalisées dans quatre zones géographiques couvrant les bassins conchylicoles bas-normands (Figure 42). Les premiers résultats montrent que le temps de résidence peut être estimé à environ 2 jours pour la côte est du Cotentin, 2,5 jours pour la côte ouest, 3 jours pour la baie des Veys et 6 jours pour le secteur de Meuvaines (Figure 43).

Participants

Le LERN a conduit la réalisation de cette tâche qui a fait l'objet d'un stage de 2 mois en 2007 pour un étudiant de Master I en Ingénierie mathématique. Ce travail a fait l'objet de la rédaction d'un rapport de stage (Diallo, 2007).

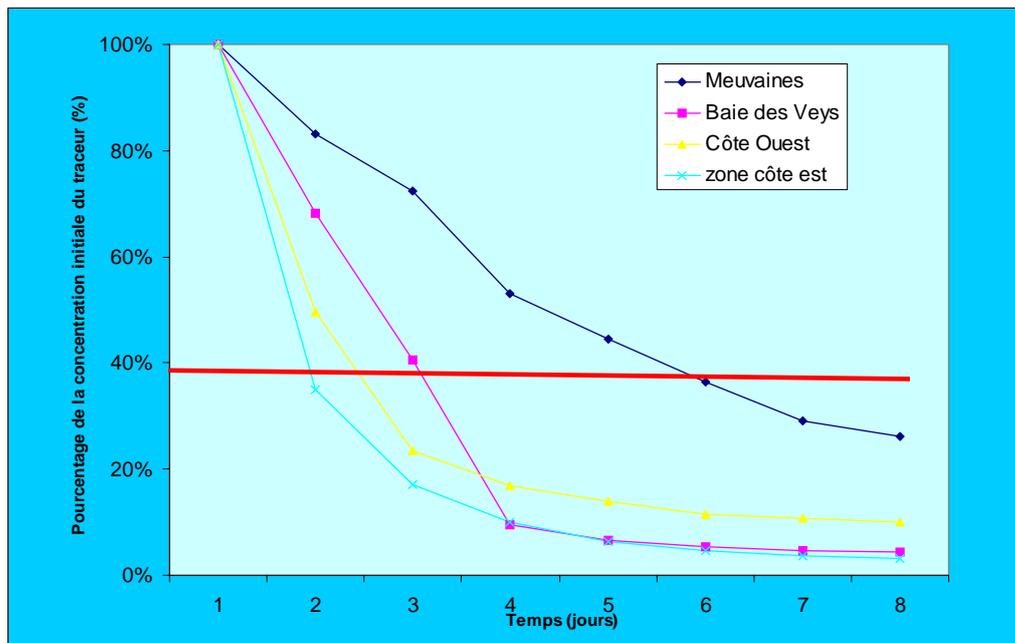


Figure 43 : Pourcentage d'évolution de la concentration en traceur dans les quatre zones délimitées.

4. Références

Baguenard, S., Blin, J.-L., Richard, O. 2005. Valeurs culturelles des concessions ostréicoles du littoral de la Manche. Rapport SMEL/CE-prod/2005-03. 50 p.

Blin, J.-L., Richard, O. 2005. Valeurs culturelles des concessions ostréicoles du littoral de la Manche. Résultats 2003. Rapport SMEL/CE-prod/2005-01. 50 p.

Blin, J.-L., Richard, O. 2006. Valeurs culturelles des concessions ostréicoles du littoral de la Manche. Résultats globaux 2003-2004-2005. Rapport SMEL/CE-prod/2006-02. 21 p.

Blin, J.-L., Richard, O. 2007. Valeurs culturelles des concessions ostréicoles du littoral de la Manche. Cartes de référence sur les années 2003-2004-2005. Rapport SMEL/CE-prod/2007-01. 20 p.

Bourlès, Y., Pouvreau, S., Alunno-Bruscia, M., Leguay, D., Arnaud, P., Gouletquer, P., Kooijman, S.A.L.M. 2007. Modelling growth and reproduction in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): what's new with the oyster DEB-model. 10th International Conference on Shellfish Restoration, Vlissingen, The Netherlands, Oral communication.

Diallo, A. 2007. Détermination des temps de résidence des masses d'eau dans les écosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie. Mémoire de Master I Ingénierie Mathématique, Université de Caen, 37 p.

Gangnery, A., Bacher, C., Grangeré, K., Pouvreau, S. 2007. Assessing carrying capacity of Baie des Veys (Normandy, France) with a biological model. 10th International Conference on Shellfish Restoration, Vlissingen, The Netherlands, Oral communication.

Hayakawa, Y., Kobayashi, M., Izawa, M. 2001. Sedimentation flux from mariculture of oyster (*Crassostrea gigas*) in Ofunato estuary, Japan. ICES Journal of Marine Sciences 58.

- Henry, F. 2007. Elaboration d'un prétraitement informatique d'images de zones conchylicoles automatisant l'identification et la quantification des poches ostréicoles. Rapport de stage IUT. Département Mesures Physiques. IUT Université de Caen. 31 p.
- Jouenne, F. 2005. Dynamique de la production primaire phytoplanctonique et structure de la communauté microalgale au sein d'un écosystème estuarien macrotidal, la Baie des Veys (Manche est). Thèse de Doctorat, Université de Caen Basse Normandie, 295 pp +annexes.
- Lambert, C., Moal, J., Le Moullac, G., Pouvreau, S. 2007. Les Risques associés à la physiologie de l'huître en période de reproduction. In: Samain, J.F., McCombie, H. (Eds.), Mortalités estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Défi Morest. Ifremer/Quæ, pp. 51-94.
- Le Goff, R., Riou, P., Etourneau, C., Maheux, F., Pierre Duplessix, O., Justome, V., Jacqueline, F., Fiant, L., Françoise, S., Lampert, L., Ropert, M., Daniel, A. 2005. Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN), Cycles hydrologiques annuels (2001-2004), évaluation des niveaux trophiques, proposition de réseau hydrologique pérenne de suivi de la qualité des masses d'eau DCE. Rapport Ifremer RST. LERN/05.09/PB. 132 p.
- Misko, P. 2003. Etude des apports terrigènes en Baie des Veys (Volet environnement de MOREST). Institut Universitaire Européen de la Mer / IFREMER-DEL-SRB. R.INT.DEL/SR/03.10/Brest. 78 p.
- Nogues L., 2006. Bilan sur la réalisation d'un catalogue de métadonnées au sein du projet OGIVE. RST/LERN/06-09, septembre 2006, 28 p.
- Potel, C. 2006. Structuration spatiale des paramètres hydrobiologiques au sein des écosystèmes conchylicoles de Basse Normandie. Rapport de stage de Master II, Université de Caen Basse Normandie, 101 pp.
- Pouvreau, S., Boulès, Y., Lefebvre, S., Gangnery, A., Alunno-Bruscia, M. 2006. Application of a dynamic energy budget model to the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, reared under various environmental conditions. J. Sea Research, 56, 156-167.
- Pouvreau, S., Maurer, D., Bernard, I., Boulès, Y., N'aud-Masson, M., Rumebe, M., Alunno-Bruscia, M. 2007. Modelling growth and reproduction in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): application of the "Oyster DEB-model" in Arcachon Bay (France). 10th International Conference on Shellfish Restoration, Vlissingen, The Netherlands, Oral communication.
- Ropert, M., Mazurié, J., Bédier, E., Le Coz, F., Soletchnik, P. 2007. Évaluation des risques dans les écosystèmes conchylicoles. In: Samain, J.F., McCombie, H. (Eds.), Mortalités estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Défi Morest. Ifremer/Quæ, pp. 1-49.
- Soletchnik, P., Ropert, M., Mazurie, J., Gildas Fleury, P., Le Coz, F. 2007. Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. Aquaculture 271, 384-400.
- Sornin, J.M. 1981. Processus sédimentaires et biodéposition liés a différents modes de conchyliculture. Baie de Cancale, Anse de l'Aiguillon et Bassin de Marennes-Oléron. Thèse de Doct. 3ème cycle. Sédimentologie marine. Université de Nantes. 188 p.
- Sornin, J.M. 1982. Influence des installations conchylicoles sur l'hydrodynamisme et sur la morphologie des fonds. Rev. Trav. Inst. Pêches maritimes 45, 127-139.