

Julien RODRIGUEZ

Et la contribution de :

Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Finistère Bretagne Nord,
Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Normandie
Ifremer, Laboratoire Ressources Poitou-Charentes,
CREAA, Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole,
SMEL, Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral,
IAV, Institut d'Aménagement de la Vilaine,
Profession et Syndicats mytilicoles,
Comités régionaux de la Conchyliculture Nord-Normandie, Bretagne Nord, Bretagne Sud, Pays de Loire, Poitou
Charentes,
CNC – Comité National de la Conchyliculture.

Performances d'élevage de la moule (*Mytilus edulis*) en Manche/Atlantique Recensement et interprétation

1: Synthèse et rapport



Convention DPMA N°11/1219611/NYF du 12/12/2011

« Jusqu'ici je n'ai parlé que des années fastes où les pluies étaient abondantes. Mais il y avait aussi les années sèches, terreur de la Vallée. [...] C'était immanquable: pendant les années sèches, les gens oubliaient les années prospères et, dès que la pluie revenait, ils oubliaient la sécheresse. Il en était toujours ainsi »

Steinbeck – « A l'est d'Eden » - 1952

Ce diagnostic n'aurait pu être élaboré sans la contribution des LER, des centres techniques, des bureaux d'étude et surtout des mytiliculteurs et des institutions représentant la profession (syndicats, CRC et CNC). Ce rapport constitue une synthèse des données collectées par différents contributeurs.

Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes	Réseau REMOULA	S. Robert, P. Soletchnik, O. Le Moine
CREAA, Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacoles	Suivi du captage de la Moule en Charente	A. L. Bouquet, A. Geay
SMEL, Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral	Réseau REMOULNOR	J.L. Blin
IAV, Institut d'Aménagement de la Vilaine	Données sur les débits et les concentrations en Azote	F. Salaün
Cochet Environnement	Suivi du captage de la Moule en Baie de Vilaine	H. Cochet
Profession et syndicats mytilicoles	Données professionnelles	Enquête et rencontres : Anonyme (43 entreprises)
		EARL Desbois
		E. You
		V. Hommery

Remerciements particuliers

Pour l'accueil que j'ai reçu, votre disponibilité et votre forte implication (je m'excuse par avance auprès des personnes que j'aurais pu oublier):

Mytiliculteurs

Roger Delaby, Patrice Binet, Jacques Godefroy, Christophe Charbonnier, Laurent Denoual, Didier Desbois, Eric Hodbert, Alain Chevalier, Sylvain Cornée, Christophe Hodbert, Bernard Tobie, Daniel Richeux, Christophe Porcher, Joël Métayer, Sylvain Chiquet, Vincent Hommery, Hugo Baudet, Yannick You, Emmanuel You, Benoît Durivaud, Yannick Marrionneau, Francis Baudet.

Ainsi que les 43 entreprises ayant répondu à l'enquête ou qui ont accepté de communiquer leurs résultats.

Organismes professionnels

Le CNC, Les CRCs de Bretagne Nord, de Normandie, de Bretagne Sud, des Pays de la Loire et de Poitou-Charente :

Jean-Marc Jacquette, Marina Dougé, Marion Petit, Goulven Brest, Sébastien Chantereau, Florence Bourhis-Madec, Sonia Gachelin, Mathias Dessinges, Laurent Champeau

Centres techniques et bureaux d'études

Le CREEA, le SMEL, l'IAV, Cochet-Environnement et Eurêka-Modélisation :

Dominique Mille, Jean-Louis Blin, Hélène Cochet, Flore Salaiün et Ismaël Bernard..

Ifremer

Aline Gangnery, Daniel Gerla, Julien Chevé, Patrick Le Mao, Joseph Mazurié, Benoist Hitier, Stéphane Robert, Christian Béchemin, Olivier Le Moine, Jacky Chauvin, Patrick Soletchnik, Jean-Yves Stanisière, Edouard Bédier, Jean-Pierre Baud, Philippe Cugier, Jean-Pierre Allenou et l'ensemble du personnel de la station Ifremer, LER-MPL à la Trinité pour son accueil chaleureux, son soutien et ses conseils.

N° d'identification du rapport : RST/LER/MPL/2013.05 Diffusion : Libre Restreinte <input checked="" type="checkbox"/> Interdite Validé par : J. Mazurié, E. Bédier Version du document : 31 mars 2013		date de publication mars 2013 nombre de pages 149 + annexes séparées bibliographie (Oui / Non) illustrations 73 figures langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport : Performances d'élevage de la moule (<i>Mytilus edulis</i>) en Manche/Atlantique – Recensement et interprétation		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom Rodriguez Julien (1)	Organisme / Direction / Service, laboratoire (1) Ifremer/LER/MPL/La Trinité/mer	
Collaborateur(s) : nom, prénom Baud J.P. (6) Bedier E. (1) Bernard I. (9) Blin J.L. (8) Bouquet A. L. (7) Chauvin J. (1) Cochet H. (10) Cugier P. (3) EARL Desbois (12) Gangnery A. (5) Geay A. (7) Gerla D. (2) Hommery V. (12) Mazurié J. (1) Le Moine O. (4) Robert S. (4) Salaün F. (11) Soletchnik P. (4) Stanisière J.Y. (1) You E. (12)	Organisme / Direction / Service, laboratoire (2) Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord - CRESCO, 35801 Dinard (3) Ifremer, Laboratoire d'Ecologie Benthique - Centre Bretagne, 29280 Plouzané (4) Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes - Ronce les Bains, 17390 La Tremblade (5) Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources de Normandie - 14520 Port-en-Bessin (6) Ifremer, Centre Atlantique - 44311 Nantes (7) CREEA, Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacoles - 17480 Le Château d'Oléron (8) SMEL, Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral - 50560 Blainville-sur-Mer (9) Eurêka Modélisation – 22 500 Paimpol (10) Cochet-Environnement (11) IAV, Institut d'Aménagement de la Vilaine – 56130 La Roche-Bernard (12) Mytiliculteurs	

<p>Titre du contrat de recherche : Recensement et interprétation de la variabilité des performances dans l'élevage de la moule <i>Mytilus edulis</i></p>	<p>Convention DPMA N°11/1219611/NYF du 12/12/2011</p>
<p>Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture, DPMA, place de Fontenoy, 75007 Paris</p>	
<p>Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)</p>	
<p>Ifremer, LER/MPL, 12 rue des résistants, 56470 La Trinité-sur-mer</p>	
<p>Responsable scientifique : Jean-Pierre Baud</p>	

Résumé

Cette étude a pour objectif l'analyse des baisses de productivité impactant la mytiliculture des façades Manche/Atlantique. L'identification des problèmes et leur interprétation ont utilisé plusieurs sources d'informations complémentaires: professionnelles, bibliographiques, réseaux d'observations, mesures et modèles.

Il apparaît une évolution quasi-concomitante de la production des bassins mytilicoles entre 2007 et 2011 de la Normandie aux Pertuis charentais. Les années 2007 et 2008 sont des années marquées par un gain de productivité alors qu'en 2010 et 2011, une baisse généralisée des productions est constatée. Plusieurs problèmes conjoncturels semblent expliquer cette baisse de productivité :

- un déficit de croissance qui contribue fortement aux tendances observées
- des pertes par décrochage ou mortalités en lien notamment avec une recrudescence de la prédation sur certains secteurs.

La variabilité spatiale des performances est liée aux caractéristiques environnementales et culturelles propres aux bassins mytilicoles. La productivité d'un bassin est limitée par la disponibilité en nourriture ou par une turbidité trop importante sur certains sites. La variabilité interannuelle est liée à l'abondance des efflorescences ou à un équilibre entre disponibilité trophique et turbidité.

En 2011, des conditions de sécheresse marquées ont eu un impact sur le débit des fleuves limitant ainsi fortement les apports en nutriments nécessaires au développement du phytoplancton. En 2010, la sécheresse du printemps n'explique pas à elle seule un moindre développement des efflorescences. La dominance de vents d'Est crée sur certains sites des conditions défavorables au développement et au maintien du phytoplancton.

Les phénomènes de décrochages et de mortalités des moules adultes pourraient être liées à la conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux défavorables. Les conditions climatiques ont de plus permis une recrudescence d'étoiles de mer sur certains sites. Les déficits en naissain observés font l'objet d'un déterminisme complexe qui demandera un complément d'étude.

Un éventuel réseau d'observation national devra être suffisamment intégrateur pour permettre d'évaluer les facteurs intervenant dans le déterminisme des performances d'élevage.

Abstract

The objective of this study is to explain the decrease in mussel production, along the French coasts of Atlantic and the English Channel, through existing data and additional inquiries. This decrease in 2010 and 2011 had two components : a growth deficit and losses of mussels, due to detachment and mortality. Both inter-annual and geographic differences in rearing yields seem to be linked to phytoplankton abundance and turbidity.

In 2011, severe droughts have impacted the level of rivers effluents to marine, limiting nutrients inputs. In 2010, frequent winds from east seem to have maintained the phytoplankton blooms away from the coasts.

Detachment and mortalities of mussels might be due to physiological stress or weakening linked to poor environmental conditions (heat, lack of food). The high salinities consecutive to insufficient rains also favoured the presence of starfish in coastal mussel areas. Different factors still unexplained may induce a lack of spat collection.

A recommendation for making such investigations easier in the future is to implement a regular survey of rearing performances, at national level, through a standardised protocol.

mots clés :

Mytiliculture, bouchots, moule, *Mytilus edulis*, performances d'élevage, bassins conchylicoles, croissance, décrochage, mortalité, byssus, prédation, réseaux, sécheresse, régimes de vents

key words :

Mussel farming, bouchot, *Mytilus edulis*, growth, mortality, byssus, detachment, meteorological conditions

Sommaire

PERFORMANCES D’ELEVAGE DE LA MOULE (MYTILUS EDULIS) EN MANCHE/ATLANTIQUE - RECENSEMENT ET INTERPRETATION	11
PARTIE 1 : SYNTHESE DES RESULTATS	11
1. CONTEXTE	12
2. METHODOLOGIE	12
2.1 Collecte des résultats mytilicoles.....	12
2.2 Recueil des données environnementales.....	13
2.3 Élaboration de schémas interprétatifs.....	13
3. VARIABILITE SPATIALE DES PERFORMANCES.....	13
3.1 Environnements d’élevage.....	13
3.2 Pratiques culturelles	14
3.2.1 Stratégie de garnissage et de récolte.....	14
3.2.2 Densités d’élevage.....	14
3.3 Variabilité spatiale des performances d’élevage	15
3.4 Déterminisme environnemental de la variabilité spatiale des performances mytilicoles.....	16
4. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PERFORMANCES MYTILICOLES.....	16
4.1 Variabilité interannuelle des rendements d’élevage	16
4.2 Problèmes à l’origine des baisses de productivité	17
4.3 Des baisses de productivité en grande partie liées à un déficit de croissance	17
5. DES CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DEFAVORABLES EN 2010 ET 2011	18
5.1 Baisses de croissance des moules en 2010 et 2011.....	18
5.1.1 Disponibilité trophique des années 2007 à 2011	18
5.1.2 Évolution de la productivité des bassins mytilicoles en lien avec l’environnement.....	18
5.2 Déficit trophique des années 2010 et 2011 (figures 1 & 2).....	19
5.3 Déterminisme du décrochage et de la mortalité des moules adultes (figures 1& 2)	20
5.4 Problèmes de captage et de décrochage du naissain	20
6. PERSPECTIVES	21
6.1 Identification des attentes professionnelles.....	21
6.2 Système d’Informations Conchyliques	22
6.3 Études sur des questions spécifiques	23
6.4 Mise en œuvre à échelle pilote de ces propositions.....	23
7. CONCLUSION	23

8. SCHEMA EXPLICATIF DES PERFORMANCES MYTILICOLES EN 2010 (FIGURE 1)	25
9. SCHEMA EXPLICATIF DES PERFORMANCES MYTILICOLES EN 2011 (FIGURE 2)	26
PERFORMANCES D'ELEVAGE DE LA MOULE (MYTILUS EDULIS) EN MANCHE/ATLANTIQUE - RECENSEMENT ET INTERPRETATION.....	27
PARTIE 2 : RAPPORT DETAILLE	27
1. CONTEXTE	28
2. METHODOLOGIE	28
2.1 Collecte des résultats mytilicoles	28
2.2 Recueil des données environnementales	29
2.3 Élaboration de schémas interprétatifs	29
3. ÉLÉMENTS SUR LA MYTILICULTURE NECESSAIRES A LA COMPREHENSION DE CE RAPPORT	29
3.1 Lexique mytilicole.....	29
3.2 Techniques d'élevage de la moule <i>Mytilus edulis</i>	31
3.3.1 Modes et zones de production.....	31
3.3.2 Technique de production sur bouchot.....	32
3.3 Description d'un cycle d'élevage	33
4. RECENSEMENT DES PROBLEMES MYTILICOLES	36
4.1 Déroulement des enquêtes.....	36
4.2 Hiérarchisation des problèmes rencontrés	37
4.3 Problèmes récurrents	38
4.3.1 Approvisionnement en naissain	38
4.3.2 Prédation et parasitisme	39
4.3.3 Problèmes résultants d'actions biologiques indirectes.....	43
4.3.4 Fermetures de zones.....	46
4.3.5 Conflits d'usages.....	49
4.4 Problèmes conjoncturels en 2010-2012	51
4.4.1 Un déficit de croissance généralisé associé à un manque d'eau douce.....	52
4.4.2 Des pertes de moules associées essentiellement à une mauvaise tenue du byssus.....	52
4.4.3 Des pertes de moules par prédation : une recrudescence d'étoiles de mer sur plusieurs sites	54
4.4.4 Récapitulatif des problèmes conjoncturels entre 2009 et 2011	54
4.5 Besoins scientifiques et techniques identifiés par la profession	55
5. ENVIRONNEMENT ET PRATIQUES CULTURALES DES BASSINS MYTILICOLES.	57
5.1 Caractérisation environnementale	57
5.1.1 Analyse multifactorielle des données issues du réseau REPHY	57
5.1.2 Classement des bassins d'élevages	58
5.2 Dessalures et turbidité.....	60
5.3 Efflorescences phytoplanctoniques.....	62
5.3.1 Sites océaniques de Manche Occidentale.....	62
5.3.2 Sites de Manche Orientale	62
5.3.3 Sites du Golfe de Gascogne et Baie du Mont Saint Michel (Figure 5.8)	63

5.4 Variabilité et spécificités des pratiques culturelles	64
5.4.1 Pêche continue.....	65
5.4.2 Garnissage continu	66
5.4.3 Garnissage à partir de cordes.....	67
5.4.4 Garnissage semi-continu	68
5.5 Évolutions culturelles récentes.....	69
5.5.1 La mécanisation.....	69
5.5.2 La désaisonnalisation estivale	70
5.5.3 L'abandon des techniques de boudinage	72
5.5.4 La mise en place de taux d'ensemencement limitants.....	72
5-6 Densités d'élevage	72
5.6.1 Indicateurs et méthodes de calcul.....	72
5.6.2 Densités de pieux à l'hectare.....	74
5.6.3 Longueur de cordes posées à l'hectare.....	75
6. PERFORMANCES MYTILICOLES ET LEURS EVOLUTIONS	77
6.1 Indicateurs des performances mytilicoles	77
6.1.1 Données disponibles.....	77
6.1.2 Indicateurs de productivité économique.....	77
6.1.3 Indicateurs de productivité biologique	78
6.2 Variabilité spatiale inter-bassins.....	79
6.2.1 Exploitation de l'enquête.....	79
6.2.2 Productivité des bassins mytilicoles	80
6.2.3 Des stratégies culturelles aux objectifs parfois antagonistes	81
6.3 Variabilité spatiale intra-bassin.....	84
6.3.1 Disparité des rendements par pieu intra-bassin	84
6.3.2 Disparité des performances de croissance intra-bassin	85
6.3.3 Disparités entre entreprises d'un même bassin.....	86
6.4 Variabilité interannuelle des performances mytilicoles.....	87
6.4.1 Indicateurs choisis et mesure de la variabilité	87
6.4.2 Évolution des performances mytilicoles entre 2005 et 2011	88
6.4.3 Localisation et ampleur des anomalies de productivité	89
6.5 Un déficit de croissance marqué en 2010 et 2011	90
6.5.1 Évolution des rendements en Normandie	90
6.5.2 Explication des baisses de rendement en Normandie.....	91
6.5.3 Croissance des moules en Baie de Vilaine	94
7. EFFETS D'UN DEFICIT TROPHIQUE SUR LA CROISSANCE DES MOULES	95
7.1 Caractérisation environnementale des années 2007 à 2011.....	95
7.1.1 Analyse multifactorielle (ACP) des données issues du réseau REPHY	95
7.1.2 Caractéristiques environnementales des années de production mytilicoles.....	96
7.2 Effets environnementaux sur les performances d'élevage.....	98
7.2.1 Choix des données et méthodes d'analyse	98
7.2.2 Des performances mytilicoles limitées par la disponibilité en nourriture ou la turbidité	100
7.2.3 Conséquences sur la variabilité spatiale inter-bassins	102
7.2.4 Conséquences sur la variabilité interannuelle des performances.....	103
7.2.5 Variabilité interannuelle des performances dans les Pertuis charentais	104
7.3 Croissance individuelle des moules en Baie de Vilaine	105
7.3.1 Utilisation des données satellites.....	105
7.3.2 Croissance et disponibilité trophique au printemps.....	107
7.3.3 Remplissage, limitation trophique et durée d'exondation	107
8. PERTES DE MOULES PAR DECROCHAGE OU MORTALITES	108

8.1 Recrudescence des mortalités par prédation.....	108
8.2 Mortalités de moules adultes sans lien avec la prédation.....	108
8.3 Étude bibliographique sur le byssus et la fixation des moules.....	110
8.4 Décrochages et mortalités des moules adultes.....	112
8.5 Décrochages et mortalités du naissain	113
9. EFFETS DES CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LES PERFORMANCES MYTILICOLES.....	114
9.1 Caractérisation climatique des années de production.....	114
9.1.1 Analyse multifactorielle des données météorologiques	114
9.1.2 Précipitations	117
9.1.3 Températures et ensoleillement.....	118
9.1.4 Régimes de vents des hivers et printemps.....	118
9.2 Apports fluviaux de la Vilaine	122
9.3 Effets des conditions climatiques sur la croissance des moules	124
9.3.1 Effets des apports fluviaux sur la productivité primaire dans le Mor-Braz (Dussauze, 2011).....	124
9.3.2 Effets des régimes de vent sur les courants (Stanisière et Dumas, 2006 & 2012)	126
9.3.3 Effets des régimes de vent sur l'agitation (courants et vagues)	128
9.3.4 Effets des conditions climatiques des années 2007 à 2011 sur la croissance des moules	128
9.4 Effets des conditions climatiques sur le décrochage et la mortalité des moules adultes	130
10. PERSPECTIVES	133
10.1 Système d'Informations Conchylicoles.....	133
10.1.1 Observatoire professionnel des pratiques et des performances.....	133
10.1.2 Réseau de surveillance pérenne national.....	134
10.1.3 Complémentarité de l'observatoire professionnel et du réseau standardisé.....	138
10.2 Études sur des questions spécifiques.....	138
10.3 Mise en œuvre à échelle pilote de ces propositions.....	139
BIBLIOGRAPHIE	142

Performances d'élevage de la moule (*Mytilus edulis*) en Manche/Atlantique - Recensement et interprétation

Partie 1 : Synthèse des résultats

1. Contexte

Confrontée à des difficultés depuis quelques années, la profession mytilicole a exprimé son inquiétude face aux problèmes de croissance, de qualité et de mauvaise tenue des moules observés de manière concomitante sur plusieurs bassins d'élevage français.

Afin de recenser ces problèmes et de les interpréter, l'Ifremer a été mandaté dans le cadre d'une convention établie avec la DPMA (Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture) en 2012, pour deux actions parallèles :

- Recenser ces problèmes et tenter de les expliquer. Cette étude s'intéressera plus particulièrement aux baisses de performances constatées simultanément sur les façades Manche/Atlantique en 2010 et 2011. Les problèmes relevés ayant plus souvent trait à la culture sur bouchot, nous n'évoquerons que succinctement les modes de production sur filières dans ce rapport. En réponse à une préoccupation portant sur la disponibilité en naissain de moules, une étude spécifique des facteurs à l'origine de mauvais captages ou de décrochages de moules a été initiée et confiée au bureau d'études Euréka Modélisation (I. Bernard).

- Mettre en place un réseau national d'observation des performances mytilicoles: le bilan de la première année fera l'objet d'un rapport séparé.

Au terme de ces actions, il sera possible de proposer un protocole d'observation à l'échelle nationale basé sur des comparaisons inter-sites et inter-annuelles standardisées et qui faciliterait à l'avenir l'analyse des problèmes rencontrés par les professionnels.

2. Méthodologie

2.1 Collecte des résultats mytilicoles

La phase d'étude s'est appuyée sur des entretiens avec les professionnels des différents bassins. Ces informations ont été complétées par une enquête générale et des informations en provenance des stations Ifremer et des centres techniques. Il s'agissait d'évaluer les baisses de performances et les problèmes rencontrés dans les différents sites d'élevage, avant de les interpréter.

Un questionnaire a donc été élaboré, puis transmis par l'intermédiaire des CRC, et traité de manière non nominative. Seuls une vingtaine de mytiliculteurs ayant été rencontrés (Annexe 3), le traitement des réponses de l'enquête a permis de disposer d'une vision plus exhaustive. Au total, 43 entreprises ont répondu et 39 de ces réponses ont pu être exploitées.

Compte tenu du bon taux de retour obtenu dans le cadre de l'enquête, des questions locales sur la gestion des sites conchyliques et d'une bibliographie abondante, un traitement spécifique à la Baie du Mont Saint Michel a été réalisé et intégré en annexe 1.

Certains des résultats des réseaux de suivis de la croissance assurés par le SMEL (J.L. Blin) et l'Ifremer / LERPC (S. Robert, P. Soletchnik, O. Le Moine) ont été exploités dans le cadre de cette étude. Une analyse des performances de croissance basée sur les résultats du REMOULA (années 2000-2010) est également disponible depuis le début de l'année (Soletchnik P. et al. 2013).

Dans l'analyse sur le captage et le décrochage du naissain, les données de suivis du captage assurés par le CREA (A. L. Bouquet, A. Geay) et Cochet-Environnement (H. Cochet) ont été utilisées.

L'analyse confirme l'existence de problèmes conjoncturels apparus récemment et de manière concomitante sur l'ensemble des bassins mytilicoles français de la Normandie aux Pertuis charentais. Elle a aussi permis d'identifier certaines spécificités culturelles.

2.2 Recueil des données environnementales

Dans un deuxième temps, une base de données (Annexe 4) recensant l'ensemble des informations environnementales et biologiques disponibles a été créée. Les données du réseau REPHY de l'Ifremer ont été extraites pour les sites d'élevage mytilicoles et des jeux de données météorologiques de METEO France ont été collectés auprès des différentes stations Ifremer (de 1995 à 2011).

2.3 Élaboration de schémas interprétatifs

L'interprétation de ces baisses de production s'est appuyée, dans un premier temps, sur un travail bibliographique axé sur le déterminisme des performances mytilicoles. Dans un deuxième temps, le traitement statistique des informations collectées a permis :

- d'estimer l'évolution de la productivité des bassins mytilicoles entre 2005 et 2011
- de définir les caractéristiques environnementales spatiales et temporelles de ces bassins
- d'analyser les liens entre cette évolution des performances mytilicoles, les conditions environnementales et les pratiques culturelles.

L'identification des spécificités de chaque bassin en termes d'environnement et de pratiques constituait un pré requis indispensable à une compréhension macroscopique des systèmes.

Une hiérarchisation des points de blocage par zone a été élaborée : par rapport à la problématique de l'étude, il était prioritaire d'évaluer si les problèmes s'avéraient être purement site-spécifiques ou si il existait des similitudes d'une région à une autre pouvant impliquer d'éventuelles causes communes. La portée de cette étude étant nationale, la distinction des deux échelles est essentielle afin de ne pas se disperser sur des sujets devant être abordés à une échelle régionale.

3. Variabilité spatiale des performances

3.1 Environnements d'élevage

La diversité environnementale est principalement associée à l'importance des influences estuariennes.

Le réseau REPHY révèle une variabilité environnementale importante entre les différents sites mytilicoles. Une typologie en lien avec l'importance des influences estuariennes et la disponibilité en nourriture a permis de distinguer :

- des sites où les apports terrigènes massifs permettent l'entretien de fortes concentrations phytoplanctoniques. Ces bassins seront qualifiés d'**estuariens** ;
- des zones où les apports fluviaux très limités inhibent fortement la production phytoplanctonique. Ces bassins très **océaniques** sont tous localisés en Manche Occidentale ;
- un groupe **intermédiaire** aux influences estuariennes moins prononcées mais sur lesquels la nourriture peut être très abondante.

La saisonnalité d'apparition des efflorescences est également très variable :

- dans les sites océaniques, les blooms printaniers sont très fugaces et de faible amplitude. Ils apparaissent plus précocement en Baie de Saint Brieuc ou dans l'Ouest Cotentin (mars/avril) ;
- en Manche Orientale, les efflorescences apparaissent précocement, elles sont massives et persistent durant tout le printemps ;
- dans le Golfe de Gascogne, les blooms sont également importants et persistants. Ils apparaissent souvent plus tardivement dans les Pertuis mais peuvent persister durant l'été ;

La turbidité et les dessalures présentent un cycle saisonnier en lien avec les apports fluviaux : elles sont très fortes en hiver et au début du printemps lorsque les débits sont forts. Certains sites des Pertuis peuvent cependant rester très turbides au printemps et en été.

3.2 Pratiques culturales

Les pratiques culturales dépendent des caractéristiques environnementales des sites et du degré d'intensification de l'activité.

3.2.1 Stratégie de garnissage et de récolte

Les modes de culture sont adaptés aux caractéristiques environnementales des sites. Le premier critère distinguant les principaux bassins est lié à la présence ou non d'un captage naturel de *Mytilus edulis*.

Les sites de Bretagne Nord et de Normandie sont entièrement tributaires d'un approvisionnement extérieur en naissain. Les pieux sont garnis avec des cordes provenant des principaux centres de captage, la pose ayant lieu à partir du mois de mai et parfois jusqu'en décembre. Les producteurs désépauissent peu voire pas du tout les pieux par la suite : la pratique du boudinage reste minoritaire. Afin de limiter la biomasse en élevage et la durée de stockage des cordes sur les chantiers, certains bassins (Mont Saint Michel et Ouest Cotentin depuis 2011) régulent les taux d'ensemencement (% de pieux pouvant être ensemencés chaque année). Ces modes de culture seront qualifiés de « garnissage sur cordes » ou de « garnissage semi-continu » si du boudinage est réalisé.

Dans les sites du Golfe de Gascogne, le garnissage des pieux à partir de cordes sur lesquelles le naissain a été capté au printemps est généralement beaucoup plus limité dans le temps. Celles-ci sont dans l'idéal transférées sur les pieux avant la fin de l'été pour éviter des pertes importantes par surcharge des cordes (« densité dépendance »). Pour les pieux laissés vides, un garnissage complémentaire en continu est réalisé par boudins (moules issues du désépauissement des pieux initialement garnis de cordes). Ce mode de culture a été qualifié de « garnissage continu ».

Certains producteurs en baie de Somme, sur le site d'Utah et quelques mytiliculteurs du Golfe de Gascogne préfèrent ne pas utiliser la pêcheuse. Le prélèvement au râteau permet une pêche partielle et un désépauissement du pieu. C'est dans ce cas la pêche qui peut être qualifiée de « continue ».

3.2.2 Densités d'élevage

Les densités d'élevage peuvent être exprimées par le nombre de pieux exploités à l'hectare et par la longueur de cordes posée par pieu.

La densité moyenne de moules dans un secteur d'élevage est le produit de la densité de pieux en culture par le nombre de moules par pieu.

Pour permettre une comparaison entre bassins, la surface prise en compte dans le calcul du nombre de pieux exploités par hectare intègre l'ensemble des espaces de circulation¹. L'estimation du nombre de pieux exploités à partir du nombre de pieux détenus s'appuie sur les taux d'ensemencement définis comme le pourcentage de pieux garnis chaque année. Ces taux d'ensemencement ont été estimés à partir de données bibliographiques et des résultats d'enquête. Au bilan, le nombre de pieux exploités par hectare peut fluctuer d'un facteur cinq, à l'échelle nationale : les sites les plus denses sont localisés dans le Golfe de Gascogne avec des densités comprises entre 640 et plus de 1000 pieux ensemencés par hectare (Aix, Boyard et une majorité de sites en Baie de Vilaine). La Baie du Mont Saint Michel est le bassin le moins dense de France avec 150 à 200 pieux exploités à l'hectare.

La longueur moyenne de cordes posée par pieu peut servir d'indicateur de densité de moules sur les pieux. Elle fluctue en fonction du mode de culture et de la hauteur des pieux (entre 2,5 et 4,5 mètres). Cette longueur est très forte en Baie du Mont Saint Michel malgré l'absence de désépaulement ultérieur ; cette densité de moules sur pieux très élevée rend nécessaire l'utilisation d'un grand nombre de filets de catinage au fur et à mesure de la croissance. En Baie de Vilaine, à l'inverse, un désépaulement important permet le garnissage de 50% des pieux à partir de boudins. Cette technique maintient une densité de moules très faible à l'échelle d'un pieu.

Les données disponibles sur les densités et les pratiques mériteraient d'être actualisées.

3.3 Variabilité spatiale des performances d'élevage

La productivité peut s'exprimer par hectare ou par pieu, selon le facteur de production considéré. Pour caractériser chaque bassin, ces indicateurs sont moyennés sur la période 2005-2011.

La productivité (tonnage récolté par ha) varie d'un facteur deux selon les sites: entre 10 et 12 tonnes/hectare en Manche Occidentale (de 4 à 6 tonnes par « ligne ») et 18 à 19 tonnes dans les zones d'élevage les plus productives (Baie de Vilaine et Boyard). Elle doit être avant tout le reflet de la capacité trophique des différents sites.

Les rendements par pieu résultent également des pratiques culturelles et notamment du nombre de pieux par ha : ils sont les plus élevés en Baie du Mont Saint Michel avec en moyenne 60 kg/pieu ensemencé et à Utah (près de 50 kg). Dans les autres bassins, ils sont compris entre 27 et 32 kg/pieu pour la période considérée.

En Baie du Mont Saint Michel, l'absence de désépaulement et l'augmentation de la surface d'accroche des moules par la pose d'un grand nombre de « catins » contribue au maintien d'une densité élevée d'individus sur un pieu. Cette capacité de charger les pieux, alors que le phytoplancton n'est pas particulièrement abondant, est supportée par une très faible densité à l'hectare mais probablement aussi par les forts courants de marée.

Malgré une densité initiale de moule par pieu comparable à Boyard, la faiblesse des rendements par pieu indique l'existence de fortes pertes de moules en cours d'élevage (d'ailleurs signalées par les producteurs). Les facteurs à l'origine de ces pertes restent inexplicables (prédation et/ou décrochages).

Les stratégies utilisées en baie du Mont Saint Michel et de Vilaine apparaissent antagonistes, car fondées sur des atouts et contraintes différents (les surfaces disponibles en particulier) :

- avec une densité de pieux très faible mais une charge en moules par pieu très élevée en baie du Mont Saint Michel, c'est l'optimisation du travail qui est visée ;

¹ *Ce mode de calcul des densités d'élevage par unité de surface intégrant des espaces de circulation produit des estimations différentes du calcul des professionnels limité au strict pourtour d'une zone de bouchots. Par exemple, en Manche Occidentale, 4 à 5 bouchots occupent 1 hectare, selon l'estimation des professionnels ; selon notre mode de calcul, ils en occupent 2 à 2,5, et donc les densités ainsi estimées sont donc 2 à 2,5 fois plus faibles.*

- avec une densité de pieux très forte mais une charge en moules par unité d'élevage réduite au minimum, les objectifs sont d'optimiser à la fois la surface et le captage en Baie de Vilaine.

3.4 Déterminisme environnemental de la variabilité spatiale des performances mytilicoles

Le potentiel productif d'un bassin d'élevage semble dépendre de deux paramètres environnementaux : (1) l'abondance en **nourriture au printemps** (ou en été pour Boyard), (2) la **turbidité en été**.

Dans une majorité de sites mytilicoles, c'est la disponibilité en nourriture qui limite la productivité. Le groupe dont les performances sont limitées par la nourriture disponible au printemps englobe l'ensemble des bassins de Manche Occidentale (ceux appartenant au groupe océanique, mais aussi la Baie du Mont Saint Michel).

Pour certains sites des Pertuis décrits comme estuariens (Yves, Aix et Marsilly), la productivité mytilicole n'apparaît pas limitée par la ressource trophique (abondante), mais par un niveau de turbidité trop élevée. Cet effet peut s'expliquer par l'effort de tri pré-ingestif opéré par la moule si les particules en suspension sont abondantes (Arifin et Bendell-Young, 2001).

Utah, le Pas de Calais, la Baie de Somme, la Plaine et Aiguillon sont des sites d'élevage dont les caractéristiques environnementales semblent optimales. Certains de ces bassins sont en effet considérés comme les plus productifs ils appartiennent pour la plupart aux catégories environnementales intermédiaires ou estuariennes précédemment décrites.

4. Évolution interannuelle des performances mytilicoles

4.1 Variabilité interannuelle des rendements d'élevage

Les performances d'élevage évoluent de façon quasi-concomitante entre 2007 et 2011 de la Normandie aux Pertuis charentais.

Les retours d'enquête ont permis de quantifier l'évolution des performances mytilicoles entre 2005 et 2011. Certaines valeurs peuvent souffrir d'un biais d'échantillonnage, mais les tendances mises en évidence sont corroborées par les mytiliculteurs contactés directement. L'observation des tendances interannuelles sur la période 2005-2011 démontre le caractère exceptionnel des années 2007, 2008 (forte production) et 2011 (faible production) durant lesquelles les anomalies de performances sont à la fois marquées et généralisées. L'intégration des données de production des années 2005 & 2006 est essentielle pour relativiser la baisse durant 5 années consécutives entre 2007 et 2011.

Avec une hausse de 16% de la productivité moyenne, 2007 est une année exceptionnelle. Les rendements restent cependant moyens dans les Baies de Bretagne Nord (Arguenon, Fresnaie et Saint Briec) voire faibles pour les producteurs exploitant sur les deux Pertuis charentais (Pertuis).

A l'exception de Chausey, la productivité est supérieure ou égale à la moyenne dans tous les bassins mytilicoles en 2008. La productivité globale augmente de 9% avec une hausse plus marquée dans les baies de Bretagne Nord précédemment citées.

2009 est une année de productivité moyenne pour une majorité de bassins d'élevage. Des baisses de performances marquées apparaissent à Boyard et en Ouest Cotentin.

En 2010, la productivité est inférieure à la norme dans tous les bassins avec une baisse globale de 8%. Cette tendance est plus ou moins marquée en fonction des sites avec une diminution plus prononcée en Rade de

Brest, Ouest Cotentin et dans le Pertuis Breton. Les performances des producteurs exploitant sur les deux Pertuis (Pertuis) se distinguent encore nettement de la tendance générale.

C'est en 2011 que la baisse de productivité est la plus forte avec une diminution globale proche de 15%. Tous les bassins mytilicoles à l'exception des sites de Boyard et de la Fresnaie sont concernés. Cette baisse semble particulièrement prononcée sur les sites du Pertuis breton, d'Utah et en Rade de Brest (jusqu'à -40%).

A l'exception de la Baie de Somme, tous les bassins mytilicoles sont impactés en 2011 et/ou en 2010. La tendance mise en évidence n'apparaît pas liée aux caractéristiques de pratiques et d'environnement précédemment décrites.

4.2 Problèmes à l'origine des baisses de productivité

Une baisse de productivité peut provenir a priori d'une baisse de croissance des moules, mais aussi d'une baisse de densité provenant soit d'un déficit initial (faible densité de naissain sur les cordes), soit d'une perte en cours d'élevage (mortalité, prédation, décrochage...). L'inventaire des phénomènes constitutifs de ces baisses de production a été réalisé lors des rencontres avec les professionnels (Annexe 3). Trois problèmes principaux ont pu être identifiés :

- un « manque de pousse » réduisant la production brute et nette (trop de moules sous la taille marchande) ainsi que le taux de remplissage. Ce problème est associé systématiquement à un manque de précipitations par les professionnels ;
- une mauvaise tenue du byssus des moules conduisant à des décrochages importants à la fois du naissain et des moules adultes ;
- une recrudescence de la prédation sur certains sites :
 - . les étoiles de mer en Baie de Vilaine, La Plaine sur mer et Roulières dans les Pertuis charentais, notamment en 2011 ;
 - . les daurades en Rade de Brest (2010 et 2011) et en Baie de l'Arguenon (2012).

L'effet respectif de chacun de ces facteurs sur les performances est difficilement quantifiable. Cependant, leur similitude et leur simultanéité dans les différents bassins justifient une approche nationale dans la recherche des pistes explicatives.

4.3 Des baisses de productivité en grande partie liées à un déficit de croissance

Les baisses marquées de la production des bassins mytilicoles en 2010 et 2011 sont liées pour l'essentiel à un déficit de croissance.

L'utilisation des données sur les rendements bruts et nets de pieux témoins permet, à l'aide d'équations théoriques (Mazurié, 2001 ; Thomas, 2004), d'évaluer la contribution de la croissance et des pertes de moules à l'évolution de la productivité. Les données du réseau « Remoulnor » (Blin, 2012) ont été utilisées pour estimer l'importance respective de ces deux facteurs en Normandie :

- les excellents rendements de 2007 sont expliqués à la fois par un grand nombre d'individus par pieu mais surtout par une croissance exceptionnelle ;
- la forte baisse de productivité enregistrée en 2009 s'explique de manière égale par une baisse de croissance et par des pertes de moules. Il peut s'agir d'un déficit de captage initial, de décrochages, de mortalités ou d'une recrudescence des prédatations ;

- la densité finale de moules participe dans une moindre mesure (environ un tiers) à la forte baisse des rendements mesurée en 2010, celle-ci étant majoritairement liée à une diminution de la croissance individuelle ;
- la baisse moins marquée en 2011 est presque entièrement liée à des problèmes de croissance.

Un jeu de données professionnelles collectées en Baie de Vilaine (V. Hommery) confirme l'existence d'une baisse de croissance et de remplissage des moules très prononcée en 2010 et 2011. Les déchets pourraient dans certains cas représenter près de la moitié de la biomasse produite cette dernière année : la croissance contribue de manière très forte à la baisse de productivité en 2011.

5. Des caractéristiques environnementales défavorables en 2010 et 2011

5.1 Baisses de croissance des moules en 2010 et 2011

5.1.1 Disponibilité trophique des années 2007 à 2011

Le traitement par analyse multifactorielle (Analyse en Composantes Principales de 14 années du réseau REPHY a permis de caractériser la variabilité saisonnière et interannuelle (Figure 4). Comme dans la comparaison inter-sites précédente, deux facteurs représentent le mieux cette variabilité : la chlorophylle et l'influence estuarienne (turbidité / dessalure). Les années dont la production mytilicole a été anormalement forte (notamment 2007, 2008) ou faible (2010, 2011) se discriminent nettement, notamment en matière de nourriture printanière et d'influence estuarienne hivernale :

- 2007 & 2008 (les 2 années les plus riches sur 14 années) se distinguent par une forte influence estuarienne en hiver traduite par des dessalures marquées et une concentration en phytoplancton très forte au printemps et en été.
- 2010 présente une influence estuarienne standard en hiver et une concentration en phytoplancton au printemps plus faible que la normale
- 2011 présente une influence estuarienne moins marquée en hiver. C'est l'année où la concentration en chlorophylle est la plus faible au printemps.

Tous bassins mytilicoles confondus, la quantité de nourriture en particulier au printemps apparaît donc comme le facteur le mieux corrélé aux performances mytilicoles : l'année 2011 peut même être qualifiée d'« année sans printemps » sur le plan trophique. Cette tendance à une évolution concomitante des concentrations en chlorophylle et des performances mytilicoles suggère une piste environnementale pour expliquer les problèmes de « pousse » observés par les producteurs.

5.1.2 Évolution de la productivité des bassins mytilicoles en lien avec l'environnement

Le croisement entre les données environnementales du réseau REPHY et les retours d'enquête sur les performances mytilicoles permet d'étudier les facteurs environnementaux déterminant l'évolution interannuelle des performances mytilicoles site par site.

La concentration en chlorophylle printanière a un impact significatif sur les performances mytilicoles en Baie du Mont Saint Michel, en Baie de Vilaine et dans le Pertuis breton. A Boyard, c'est la disponibilité trophique pendant l'été de récolte qui semble déterminer l'évolution des performances. Il n'apparaît pas de tendance claire pour l'Ouest Cotentin et Chausey.

Pour certains sites des Pertuis, l'explication des différences interannuelles de productivité est plus complexe : elle semble régie par un équilibre entre disponibilité en nourriture et turbidité, deux paramètres pouvant être liés mais dont les effets sur la croissance sont antagonistes :

- dans le Pertuis Breton, l'hypothèse de limitation trophique reste valide pour expliquer les mauvais résultats en 2010 et 2011 ;
- dans le cas de Yves et Aix, deux sites très turbides, la nourriture n'aurait été limitante qu'en 2011, et la turbidité moindre en 2010 ;
- à Boyard à l'inverse, le phytoplancton est plus abondant en 2011 qu'il ne l'était en 2009 et 2010 ce qui explique de meilleures performances.

5.1.3- Disponibilité en nourriture et croissance individuelle des moules en Baie de Vilaine

Le traitement des données professionnelles collectées en Baie de Vilaine (V. Hommery) et des concentrations en chlorophylle mesurées par satellite a permis de préciser ce lien entre disponibilité trophique et croissance des moules entre 2008 et 2011 (poids moyens après calibration) : il apparaît un **seuil de concentration de nourriture** en dessous duquel la croissance diminue brutalement².

5.2 Déficit trophique des années 2010 et 2011 (figures 1 & 2)

En 2010 et 2011, des épisodes de sécheresse et les régimes de vents sont défavorables au développement et au maintien des efflorescences phytoplanctoniques.

Le développement du phytoplancton, déterminant pour la croissance des moules, est régi principalement par les facteurs météorologiques (ensoleillement, précipitations, vents).

2007 et 2008, sont des années humides dominées par des régimes dépressionnaires de l'hiver à l'été. L'importance et la régularité des apports en nutriments par les fleuves tout au long de l'année permettent un développement très important des efflorescences phytoplanctoniques. La croissance des moules est favorisée et les performances de production des mytiliculteurs sont exceptionnelles dans la plupart des sites en 2007 (+ 16% à l'échelle nationale) et très bonnes en 2008 (+ 9%) à de rares exceptions près (certains sites des Pertuis, Chausey).

A l'opposé de ces deux années, 2011 se caractérise par des conditions de sécheresse généralisées en hiver et au printemps. Les débits des fleuves sont exceptionnellement faibles de l'hiver à l'été : les apports en nutriments deviennent fortement limitants pour le développement du phytoplancton. Cette limitation trophique est flagrante sur l'ensemble des stations REPHY des bassins mytilicoles et explique une baisse de croissance et un amaigrissement des moules : en moyenne, une baisse des rendements de 15% est constatée sur l'ensemble des bassins mytilicoles des façades Atlantique (à l'exception de Boyard et de la Baie de la Fresnaie).

En 2010, la situation mytilicole est plus contrastée malgré une baisse de l'ordre de 8% de la productivité moyenne. L'hiver 2010 est plutôt froid et pluvieux et le printemps est marqué par un épisode de sécheresse. Les débits des fleuves sont également en baisse, mais sans commune mesure avec celle de 2011 : une limitation des apports en nutriments ne suffit plus à expliquer à elle seule la limitation trophique constatée sur certains sites. Notre interprétation fait appel aux régimes de vents : la dominance très marquée de vents

² L'allure de cette relation entre densité trophique et croissance, de type « rendements décroissants », correspond bien à la formulation généralement admise de l'ingestion en fonction de la nourriture (relation de T2 de Holling dans le modèle Dynamic Energy Budget).

d'Est faibles à modérés au printemps pourrait avoir généré une circulation des masses d'eau défavorable au développement ou au maintien des efflorescences en Baie de Vilaine et dans le Pertuis Breton (Stanisière et Dumas, communication personnelle). Dans certains sites des Pertuis à l'inverse, cette configuration (débits et vents faibles) aurait été favorable en limitant la turbidité.

5.3 Déterminisme du décrochage et de la mortalité des moules adultes (figures 1 & 2)

Ces phénomènes sont probablement liés à une conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux

Plusieurs références bibliographiques suggèrent un lien entre l'environnement, l'état physiologique des moules, et les événements de décrochage et de mortalité de moules adultes.

En 2003, dans les Pertuis charentais, Stéphane Robert (2003) a mis en évidence un phénomène de décrochage massif pendant l'été en lien avec des températures exceptionnellement élevées. L'incidence serait particulièrement marquée après la ponte qui entraîne un **affaiblissement des animaux**. Ainsi, aux Îles de la Madeleine (Canada), un lien a été établi entre l'augmentation de température de l'eau et les mortalités estivales (Myrand, 2000), mais aussi les décrochages (Labhance, 2008), apparus en été (une saison où la disponibilité en nourriture est très faible) et systématiquement après la ponte.

L'année 2011, une telle conjonction de conditions environnementales stressantes (températures élevées et milieu appauvri), notamment pour des individus affaiblis par la ponte (fin d'hiver, printemps), pourrait expliquer une recrudescence de mortalités et décrochages :

- la quantité de nourriture disponible au printemps et en été a été exceptionnellement faible ;
- la température de l'eau a été très élevée lors de ce printemps caniculaire.

L'agitation du milieu semble également un facteur essentiel de décrochage : **la force d'attachement et la production de byssus** (Price, 1982 ; Young, 1985) augmentent avec la turbulence : un fort coup de vent suivant une période de calme entraînera un décrochage massif. L'impact sera moindre si une agitation régulière (vagues, courant) a eu lieu au préalable. En milieu très euryhalin, des dessalures brutales peuvent également bloquer la fabrication de byssus, le temps que les enzymes s'acclimatent (Bohle, 1972 ; Young, 1985). Ce pourrait être le cas dans l'estuaire de la Vilaine certaines années (notamment en 2008).

Des variations brutales de salinité limitent aussi fortement la **prédation par les étoiles de mer** qui sont sensibles aux dessalures. Les conditions de sécheresse exceptionnelles des hiver et printemps 2011 puis de l'automne 2011 ont favorisé leur maintien sur les sites de production. La prédation par les étoiles en 2011 a concerné plusieurs bassins : Baie de Vilaine, La Plaine et sites du large du Pertuis Breton avec des mortalités pouvant toucher 50% des moules d'un pieu (Rapport de la mission d'enquête DDTM Loire-Atlantique, 2011).

Le caractère multifactoriel et le manque de données sur ces phénomènes complexifient néanmoins l'interprétation. Un complément d'étude serait nécessaire pour quantifier et expliquer ces événements.

5.4 Problèmes de captage et de décrochage du naissain

Deux phénomènes peuvent expliquer a priori un mauvais garnissage des cordes : (1) un déficit de captage, observé en 2012 à Noirmoutier et à Pont-Mahé, (2) des décrochages ou une mortalité du naissain qui semblent expliquer en grande partie un mauvais garnissage des cordes en 2011.

Dès 1991, un déficit majeur de captage dans les Pertuis a été expliqué par des phénomènes de dessiccation (Dardignac-Corbeil, Prou, 1995). La conjonction de plusieurs facteurs était alors en cause :

- une exondation en journée avec de forts coefficients de marée,
- un ensoleillement fort,
- des vents de terre asséchants.

Les caractéristiques du printemps 2011 paraissent propices à ce phénomène :

- les températures sont exceptionnellement chaudes (un des trois printemps les plus chauds depuis 1976 à Vannes) ;
- l'ensoleillement est très marqué (printemps le plus ensoleillé depuis 1987 à Vannes).

La sensibilité à la dessiccation est d'autant plus forte que le naissain est petit. Les données disponibles n'ont cependant pas permis de démontrer cet effet pour l'année 2011.

Des évolutions zootechniques ont pu également contribuer à des pertes de naissain dans certains bassins. Une désaisonnalisation récente de la commercialisation a entraîné un démarrage plus précoce de la récolte (au moins un mois) sur certains secteurs. Cette évolution a pu contribuer à une hausse des taux d'exploitation des bouchots et à un allongement de la durée de stockage sur les chantiers. La diminution de la densité de naissain pourrait dans ce cas être simplement liée à la compétition spatiale sur les cordes.

Pour mieux comprendre le déterminisme de la densité de naissain sur les cordes, une première étude a été confiée au bureau d'études Euréka Modélisation (I. Bernard) basée essentiellement sur les données collectées en Baie de Vilaine par Cochet Environnement (H. Cochet) et aux Saumonards par le CREA (A. L. Bouquet, A. Geay). Une analyse déterministe de la décroissance du nombre de naissain sur les cordes est élaborée en fonction de la compétition spatiale et trophique (densité dépendance) et de mortalités éventuelles par dessiccation (annexe 2)

Pour approfondir les hypothèses proposées il conviendrait : (1) d'améliorer les connaissances sur la tenue du byssus, (2) de développer une méthodologie permettant de quantifier l'ampleur des décrochages et leurs impacts sur les performances d'élevage qu'il s'agisse de naissains ou de moules adultes. (3) sans attendre, certaines adaptations des protocoles de suivi existants permettraient de mieux distinguer les phénomènes de pertes par densité dépendance et par dessiccation : allongement de la durée du suivi, mesure de la taille des individus (ou du volume) et échantillonnages en début et en fin de périodes de vives-eaux.

6. Perspectives

6.1 Identification des attentes professionnelles

Lors des différentes rencontres, les professionnels ont été interrogés quant aux formes que devrait prendre un suivi scientifique et technique de la mytiliculture.

L'intérêt pour un accompagnement portant sur la **zootechnie** est marqué. Cette demande émane de professionnels produisant sur bouchots ou filières. Pour les filières, il s'agit de producteurs installés récemment ou dont la demande de concession est en cours : l'absence de soutien technique est considéré comme handicapant en Bretagne Nord. Pour les bouchots, les demandes concernent surtout les stratégies d'ensemencement :

- effet des dates de pose des cordes en Normandie,
- optimisation de la densité initiale sur les pieux en Bretagne Nord (longueur de cordes),
- optimisation de la densité initiale dans les bassins du Golfe de Gascogne (cordes et boudins).

Compte tenu de la diversité des parcours zootechniques, une réponse à cette attente sur des stratégies d'ensemencement devra être conduite à l'échelle régionale.

Les questions portant sur la **surveillance et la gestion des bassins d'élevage** appellent également des réponses spécifiques à chaque site. Cependant, certaines méthodologies développées à l'échelle d'un bassin pourraient être appliquées ailleurs :

- méthodes d'estimation des biomasses (Dardignac Corbeil, Mazurié, 1989 ; Nogues, 2008, Le Moine, 2002...);
- évaluation inter-site des performances d'élevage (Dardignac Corbeil, 1996 ; Mazurié, 2001 ; Robert, 2001 ; Blin, 2004 ; Thomas, 2004...);
- capacité et compétition trophiques (Gangnery, 2004 ; Cugier, 2010).

Un regain de productivité en 2012 a atténué les inquiétudes des producteurs sur la plupart des sites (Golfe de Gascogne et Normandie). L'étude des **effets environnementaux** bien que citée régulièrement n'est pas identifiée comme prioritaire. Une majorité de mytiliculteurs souhaite comprendre les différences interannuelles de performances tout en soulignant que cette connaissance ne leur permettra pas nécessairement de produire mieux. Les impacts du changement climatique ont été évoqués plusieurs fois, la principale inquiétude concernant l'augmentation de l'acidité des océans et ses effets sur la production de coquille des bivalves. En forme de réponse à cette interrogation, seule une minorité pense qu'un **suivi pérennisé des performances mytilicoles** n'aurait pas d'intérêt.

6.2 Système d'Informations Conchylocoles

A l'image du Système d'Informations Halieutique (SIH), il serait possible de mettre en place un Système d'Informations Conchylocoles à deux échelons :

- un observatoire des pratiques et des performances, sur la base de déclarations de professionnels et la mise en place d'un réseau d'observateurs ;
- un réseau d'observation mytilicole du même type que celui existant sur les huîtres (Resco).

Un observatoire des pratiques et des performances

La réalisation d'un diagnostic de la conchyliculture ou une assistance à la gestion des zones conchylocoles doit être basée sur une analyse de l'information professionnelle. Une connaissance précise des productions et des méthodes culturales s'avère indispensable.

Dans le cadre de cette étude, la mise en place de l'enquête sur les performances a ainsi permis d'estimer l'évolution de la productivité sur 7 années, au moyen d'un questionnaire simple. Une généralisation de cette approche basée sur un réseau d'observateurs professionnels serait un moyen simple et efficace de collecter les informations nécessaires à une meilleure gestion et à une amélioration des pratiques.

Un réseau de surveillance pérenne et standardisé de la mytiliculture à l'échelle nationale

Ce type de suivi réalisé en condition standardisée permet la réalisation de comparaison interannuelles en s'affranchissant des effets liés à la zootechnie. Cette synthèse permet déjà d'identifier certaines des questions auxquelles devrait répondre un dispositif pérenne de surveillance :

- Effets environnementaux (incluant le changement climatique) sur les performances mytilicoles : Réseau(x) mytilicole(s) et environnementaux (REPHY, DCE, DCSMM).
- Saisonnalité des croissances en chair et coquilles: Réseau(x) mytilicole(s) et études complémentaires (augmentation de la fréquence d'échantillonnage).
- Une meilleure compréhension des composantes du rendement tout au long du cycle d'élevage: succès du captage, nombre de moules (survie), poids moyen, tailles individuelles. Une adaptation des protocoles des suivis existants sur le captage permettrait de mieux comprendre les phénomènes de décroissance du naissain sur les cordes.

La forme que devrait prendre un réseau pérenne de surveillance de la mytiliculture à l'échelle nationale doit s'inspirer des expériences pré-existantes en Normandie (Remoulnor) et en Poitou-Charente (Remoula). Une analyse comparative de ces deux expériences de suivi mytilicoles permettra d'optimiser un système à l'échelle nationale.

6.3 Études sur des questions spécifiques

Une évaluation de la capacité trophique devrait être réalisée sur les bassins mytilicoles dont les performances apparaissent suboptimales.

Les questions sur la zootechnie peuvent être abordées par la réalisation d'essais in situ.

Les mortalités liées à la prédation et les décrochages pourraient être quantifiées par la réalisation d'études *in situ*. Le déterminisme des phénomènes de décrochage est complexe car multifactoriel. La réalisation d'expériences en conditions contrôlées permettrait de mieux les appréhender.

6.4 Mise en œuvre à échelle pilote de ces propositions

La mise en œuvre de ces propositions à échelle pilote, sur un ou deux sites, permettrait de les optimiser (méthodologie, indicateurs...) avant généralisation.

Acquis des réseaux régionaux de suivi mytilicoles.

Cette approche comparative portant sur deux bassins mytilicoles éloignés (Normandie et Pertuis) permettra **d'évaluer l'apport d'outils existants dans la compréhension des performances d'élevage.**

Élaboration et test de nouvelles méthodes de suivi sur le naissain et les moules adultes.

Ceux-ci seront entre autres destinés à évaluer sur un ou plusieurs site(s) pilote(s) :

- les composantes du rendement (nombre de moules, poids moyen, tailles individuelles),
- les effets du décrochage et de la prédation.

Il serait ainsi possible d'élaborer des protocoles optimisés pour la mise en place d'un réseau pérenne et la réalisation d'études complémentaires.

7. Conclusion

Cette étude d'une durée de dix mois a permis d'éclairer les interactions entre l'environnement, les pratiques culturales, les performances d'élevage, et d'analyser les principaux problèmes auxquels est confrontée la mytiliculture. Elle s'est appuyée sur plusieurs sources complémentaires telles que des observations et des informations professionnelles, des données bibliographiques sur l'historique des pratiques d'élevage et le déterminisme des performances mytilicoles, des données environnementales et biologiques collectées au travers des réseaux existants, des données climatiques et environnementales issues de mesures, de modèles et des satellites d'observation.

La variabilité spatiale des performances est liée aux caractéristiques environnementales et culturelles propres aux bassins mytilicoles. La richesse trophique d'un site dépend essentiellement de l'importance des apports fluviaux qui déterminent le caractère océanique ou estuarien d'un bassin d'élevage.

La production à l'hectare d'un bassin mytilicole est limitée principalement par la disponibilité en nourriture. Pour certains sites très estuariens, c'est une turbidité trop importante qui peut constituer un facteur limitant. Les rendements par pieu ensemencé peuvent aussi refléter les effets de certaines pratiques. Celles-ci semblent adaptées au degré d'intensification du bassin et à l'environnement, le mode d'ensemencement étant essentiellement lié à la disponibilité locale en naissain de *Mytilus edulis*. Des stratégies culturales antagonistes peuvent apparaître en fonction d'une volonté d'optimiser le travail ou la surface disponible.

L'analyse des résultats d'enquête montre une évolution quasi-concomitante de la production des bassins mytilicoles entre 2007 et 2011 de la Normandie aux Pertuis charentais. 2007 et 2008 sont des années marquées par un gain de productivité alors qu'en 2010 et 2011, une baisse généralisée des productions est constatée.

Plusieurs problèmes conjoncturels semblent expliquer cette baisse de productivité :

- un déficit de croissance qui contribue fortement aux tendances observées,
- des pertes par décrochage ou mortalités en lien notamment avec une recrudescence de la prédation sur certains secteurs.

Le déficit de croissance contribue de manière forte aux tendances observées.

Le traitement des données environnementales a permis de mettre en évidence un déficit trophique expliquant les baisses de croissance des années 2010 et 2011.

En 2011, des conditions de sécheresse marquées ont eu un impact sur le débit des fleuves limitant ainsi fortement les apports en nutriments nécessaires au développement du phytoplancton.

En 2010, la sécheresse du printemps n'explique pas à elle seule un moindre développement des efflorescences. La dominance de vents d'Est a créé sur certains sites des conditions défavorables au développement et au maintien du phytoplancton.

En 2011, les phénomènes de décrochages et de mortalités des moules adultes pourraient être liés à la conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux défavorables. Les conditions climatiques ont de plus permis une recrudescence d'étoiles de mer sur certains sites.

Les problèmes de captage et de décrochage du naissain rencontrés font l'objet d'un déterminisme complexe qui demandera un complément d'étude.

Un éventuel réseau d'observation national devra être suffisamment intégrateur pour permettre d'évaluer les facteurs intervenant dans le déterminisme des performances d'élevage. De nouvelles méthodologies de suivi doivent être élaborées pour pouvoir mesurer les effets de phénomènes difficilement quantifiables tels que la prédation ou les décrochages.

8. Schéma explicatif des performances mytilicoles en 2010 (figure 1)

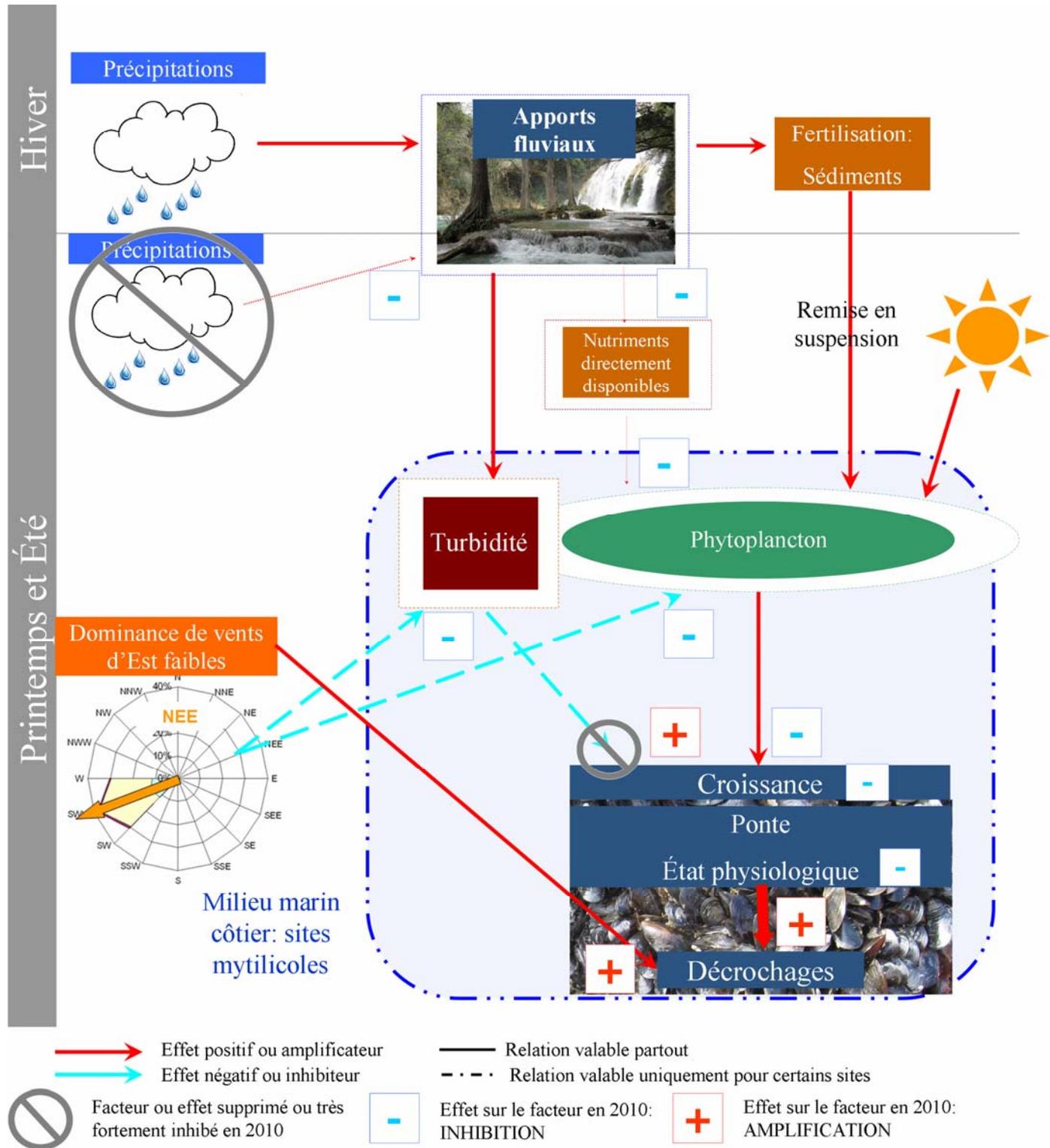


Figure 1 : Effets supposés des conditions climatiques et environnementales de l'année 2010 sur la croissance et les phénomènes de décrochages et de mortalités de moules adultes (Photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

9. Schéma explicatif des performances mytilicoles en 2011 (figure 2)

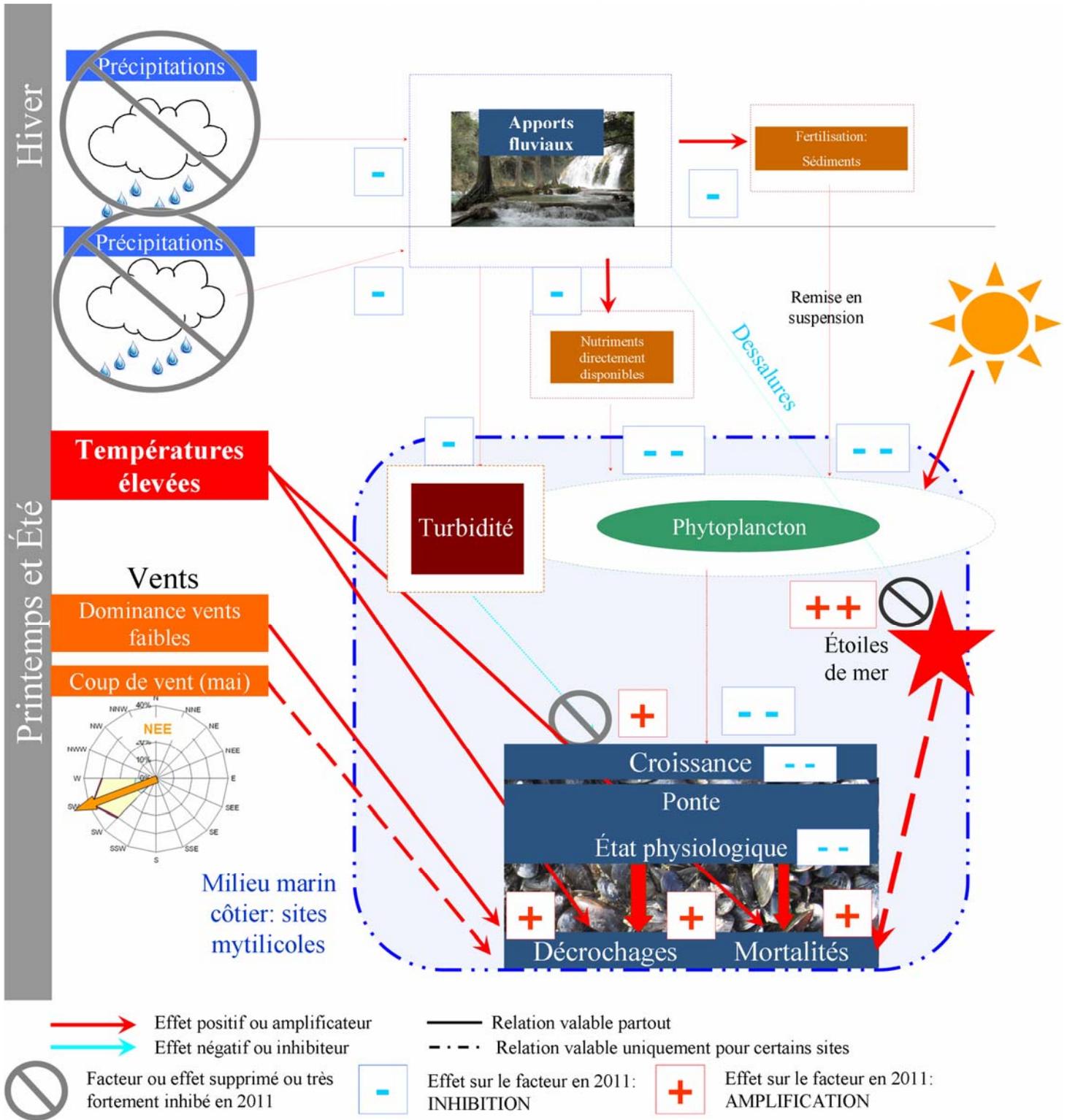


Figure 2: Effets supposés des conditions climatiques et environnementales de l'année 2011 sur la croissance et les phénomènes de décrochages et de mortalités de moules adultes (Photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

Performances d'élevage de la moule (*Mytilus edulis*) en Manche/Atlantique - Recensement et interprétation

Partie 2 : Rapport détaillé

1. Contexte

Confrontée à des difficultés depuis quelques années, la profession mytilicole a exprimé son inquiétude face aux problèmes de croissance, de qualité et de mauvaise tenue des moules observés de manière concomitante sur plusieurs bassins d'élevage français.

Afin de recenser ces problèmes et de les interpréter, l'Ifremer a été mandaté dans le cadre d'une convention établie avec la DPMA (Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture) en 2012, pour deux actions parallèles :

- recenser ces problèmes et tenter de les expliquer. Cette étude s'intéressera plus particulièrement aux baisses de performances constatées simultanément sur les façades Manche/Atlantique en 2010 et 2011. Les problèmes relevés ayant plus souvent trait à la culture sur bouchot, nous n'évoquerons que succinctement les modes de production sur filières dans ce rapport. En réponse à une préoccupation portant sur la disponibilité en naissain de moules, une étude spécifique des facteurs à l'origine de mauvais captages ou de décrochages de moules a été initiée et confiée au bureau d'études Euréka Modélisation (I. Bernard) ;

- mettre en place un réseau national d'observation des performances mytilicoles: le bilan de la première année fera l'objet d'un rapport séparé.

Au terme de ces actions, il sera possible de proposer un protocole d'observation à l'échelle nationale basé sur des comparaisons inter-sites et inter-annuelles standardisées et qui faciliterait à l'avenir l'analyse des problèmes rencontrés par les professionnels.

2. Méthodologie

2.1 Collecte des résultats mytilicoles

La phase d'étude s'est appuyée sur des entretiens avec les professionnels des différents bassins. Ces informations ont été complétées par une enquête générale et des informations en provenance des stations Ifremer et des centres techniques. Il s'agissait d'évaluer les baisses de performances et les problèmes rencontrés dans les différents sites d'élevage, avant de les interpréter.

Un questionnaire a donc été élaboré, puis transmis par l'intermédiaire des CRC, et traité de manière non nominative. Seuls une vingtaine de mytiliculteurs ayant été rencontrés (Annexe 3), le traitement des réponses de l'enquête a permis de disposer d'une vision plus exhaustive. Au total, 43 entreprises ont répondu et 39 de ces réponses ont pu être exploitées.

Compte tenu du bon taux de retour obtenu dans le cadre de l'enquête, des questions locales sur la gestion des sites conchylicoles et d'une bibliographie abondante, un traitement spécifique à la Baie du Mont Saint Michel a été réalisé et intégré en annexe 1.

Certains des résultats des réseaux de suivis de la croissance assurés par le SMEL (J.L. Blin) et l'Ifremer / LERPC (S. Robert, P. Soletchnik, O. Le Moine) ont été exploités dans le cadre de cette étude. Une analyse des performances de croissance basée sur les résultats du REMOULA (années 2000-2010) est également disponible depuis le début de l'année (Soletchnik P. et al. 2013).

Dans l'analyse sur le captage et le décrochage du naissain, les données de suivis du captage assurés par le CREEA (A. L. Bouquet, A. Geay) et Cochet-Environnement (H. Cochet) ont été utilisées.

L'analyse confirme l'existence de problèmes conjoncturels apparus récemment et de manière concomitante sur l'ensemble des bassins mytilicoles français de la Normandie aux Pertuis charentais. Elle a aussi permis d'identifier certaines spécificités culturelles.

2.2 Recueil des données environnementales

Dans un deuxième temps, une base de données (Annexe 4) recensant l'ensemble des informations environnementales et biologiques disponibles a été créée. Les données du réseau REPHY de l'Ifremer ont été extraites pour les sites d'élevage mytilicoles et des jeux de données météorologiques de METEO France ont été collectés auprès des différentes stations Ifremer (de 1995 à 2011).

2.3 Élaboration de schémas interprétatifs

L'interprétation de ces baisses de production s'est appuyée, dans un premier temps, sur un travail bibliographique axé sur le déterminisme des performances mytilicoles. Dans un deuxième temps, le traitement statistique des informations collectées a permis :

- d'estimer l'évolution de la productivité des bassins mytilicoles entre 2005 et 2011,
- de définir les caractéristiques environnementales spatiales et temporelles de ces bassins,
- d'analyser les liens entre cette évolution des performances mytilicoles, les conditions environnementales et les pratiques culturelles.

L'identification des spécificités de chaque bassin en termes d'environnement et de pratiques constituait un pré requis indispensable à une compréhension macroscopique des systèmes.

Une hiérarchisation des points de blocage par zone a été élaborée : par rapport à la problématique de l'étude, il était prioritaire d'évaluer si les problèmes s'avéraient être purement site-spécifiques ou si il existait des similitudes d'une région à une autre pouvant impliquer d'éventuelles causes communes. La portée de cette étude étant nationale, la distinction des deux échelles est essentielle afin de ne pas se disperser sur des sujets devant être abordés à une échelle régionale.

3. Éléments sur la mytiliculture nécessaires à la compréhension de ce rapport

3.1 Lexique mytilicole

Dans cette partie est présentée une définition des termes qui seront utilisés dans ce rapport.

Byssus : est un ensemble de fibres secrétées par la glande byssogène des moules. Elles lui permettent de se maintenir sur le substrat.

Bouchot : Ce terme désigne en général une ligne de pieux de 100 mètres mais peut avoir d'autres sens en fonction de la région étudiée.

Boudin : Filet tubulaire rempli de moules destiné à ensemercer les pieux.

Boudinage : Opération consistant à récupérer des moules en excédent sur un pieu, une aussière de filières ou sur des rochers pour les concentrer dans un filet tubulaire qui servira à ensemercer un pieu.

Captant (bassin): Le terme de bassin « captant » ou « non-captant » distingue les sites pour lesquels il existe un captage naturel de *Mytilus edulis*.

Catin : Filet tubulaire plastique placé sur un pieu garni de moules pour augmenter la surface d'accroche de celles-ci. Le catin permet à la fois de maintenir un plus grand nombre d'individus mais garantit aussi une meilleure protection en cas de coup de vent.

Catinage : Opération consistant à placer un filet sur le pieu pour permettre une meilleure accroche des moules.

Clayonnage: Ancienne technique de production : les pieux étaient alors reliés entre eux par des fascines (branchages) ce qui permettait d'accroître la surface d'accroche des moules sur un bouchot. Suite à des épisodes de mortalités liées à *Mytilicola*, cette pratique est interdite à partir des années 60 sur la plupart des bassins mytilicoles.

Dégrappage : Phénomène de chute massive spontanée de moules ou causée par une action physique sur un pieu ou une corde (chute spontanée, tempête, frottement par des algues...). *Synonyme* : décrochage.
NB : A distinguer d'un égrappage dont le déclenchement est provoqué par une action biologique externe.

Désépaississement : Opération consistant à retirer la pelisse (couche excédentaire de moules) pour limiter la densité sur un pieu.

Égrappage (Rem : terme œnologique, est un néologisme de sens avec cette définition): Phénomène de chute massive de moules sur un pieu ou une corde déclenchée par une action biologique externe (perceurs, daurades...). *NB* : A distinguer d'un dégrappage dont le déclenchement est spontané ou lié à des causes purement physiques.

Ensemencement : Opération de pose d'une corde ou d'un boudin sur un pieu d'élevage. Les moules recouvriront le pieu au fur et à mesure de leur croissance. *Synonyme* : garnissage

Garnissage: Ce terme est employé avec deux sens différents :

Garnissage des pieux : opération qui consiste à ensemercer les pieux avec des cordes de captage ou des boudins. *Synonyme* : ensemencement.

Garnissage des cordes : densité de naissain ou de nouvelain sur les cordes de captage.

Graissain: Placage de « vases » sur les pieux et les cordes pouvant créer une gangue épaisse de plusieurs centimètres d'épaisseur entraînant la mort des moules par asphyxie. Le développement de cet engorgement est associé à la présence d'annélides tubicoles de la famille des Spionidae (*Polydora sp.*).

Ligne : Désigne une série de pieux de 100 m. *Synonyme* : bouchot.

Moules de 2 ans : La durée d'élevage d'une moule à partir du garnissage des pieux est normalement comprise entre 12 à 18 mois. Dans certains cas, pour des raisons économiques ou zootechniques, les moules peuvent être conservées durant un hiver supplémentaire, on parle alors de « 2 ans ».

Mytilicola : Le copépode *Mytilicola intestinalis* est le plus connu des parasites de la moule car des mortalités massives lui ont été attribuées à partir des années 50. Les premiers cas ont été relevés sur les côtes hollandaises puis en Charente et enfin dans la baie du Mont Saint Michel entre 1962 et 1975 puis en 1982.

Naissain : Désigne une moule récemment captée.

Nouvelain : Terme mytilicole désignant un juvénile de moules. On parle de nouvelain au moment du boudinage par exemple dans le cas de moules de l'année déjà prégressives et bien distinguables à l'œil nu.

Pelisse ou plisse : Couche de moules en excédent sur un pieu.

Performance : Le sens donné à ce terme dans ce rapport est associé à la **productivité** et non à la production. En effet, un producteur peut produire plus parce qu'il a acquis de nouveaux bouchots. L'augmentation de production s'accompagne dans ce cas d'une augmentation du travail. Le **rendement par pieu ensemencé** reflètera mieux les effets de facteurs environnementaux. Cet indicateur désigne une quantité fixe de travail pour un producteur donné à condition que ses pratiques n'aient pas connu de modifications drastiques.

Pousse/ poussant : Le terme de pousse désigne la croissance d'une moule. Un secteur est qualifié de « poussant » si la croissance y est bonne.

Rangée : Désigne une série de bouchots à un niveau bathymétrique donné dans le sens terre-large.

Remplissage : Le remplissage d'une moule est tributaire des cycles de reproduction : les réserves et les gamètes sont stockées dans le manteau. Le remplissage constitue un des critères de qualité, plusieurs indices permettant de le caractériser (Walne et Mann, Lawrence et Scott...). Dans ce rapport, nous utiliserons un indice simple employé pour les contrôles professionnels : le taux de remplissage exprimera le ratio entre le poids de chair ramené au poids total de 30 moules passées une minute au four micro-onde à 850 Watt, décortiquées et égouttées avant d'être pesées.

Rendement par pieu : Il s'agit de la production de moules pour un pieu ensemencé et pêché une année donnée. En général, il s'agit de rendements nets en moules commercialisables après calibrage. Dans le cas contraire, on parlera de rendement brut désignant le poids avant calibrage.

Tahitienne : Gaine plastique posée en bas des pieux permettant de limiter la prédation par les crabes.

Taux d'ensemencement : Pourcentage de pieux qui sont ensemencés chaque année. En Baie du Mont Saint Michel et en Normandie depuis 2011, ce taux limite le nombre de pieux qui peuvent être garnis chaque année. L'instauration de taux d'ensemencement fixes peut permettre la limitation des taux d'occupation d'une concession, mais ces deux termes sont à distinguer.

Taux d'occupation : Pourcentage de pieux occupés (chargés de moules) à un instant « t ». Compte tenu du chevauchement possible de 2 voire 3 cohortes sur une concession, le taux d'occupation varie en fonction de la période de l'année et se distingue donc du taux d'ensemencement décrit précédemment. En mars/ avril, avant que ne débute le garnissage, le taux d'occupation peut être égal au taux d'ensemencement de l'année précédente.

3.2 Techniques d'élevage de la moule *Mytilus edulis*

3.3.1 Modes et zones de production

En 2010, la mytiliculture française produit 70 000 tonnes de moules (source : DPMA - enquête aquaculture). Les bassins de Manche/Atlantique cultivent majoritairement l'espèce *Mytilus edulis* et produisent 85% du total. (Barret, 2003).

Deux modes de cultures sont pratiqués et il existe également une production de pêche (Barfleur, Arcachon). En aquaculture, les techniques d'élevage en suspension sont apparues dans les années 80 en Méditerranée et ont connu une forte expansion dans les Pertuis à partir des années 90. Initialement destinées à la réalisation du captage, les filières permettent aussi la réalisation d'un prégressissement et assurent également une partie de la production nationale.

L'élevage sur bouchot reste le mode de production dominant : cette technique d'élevage est spécifique aux bassins de productions français des façades Manche/Atlantique. La légende veut pourtant que ce soit un naufragé irlandais qui l'ait inventée au XIIIème siècle en Baie de l'Aiguillon. Cette activité est restée cantonnée pendant longtemps dans le Golfe de Gascogne (Pertuis charentais et vendéens, Loire, Vilaine) puis s'est développée en Bretagne Nord, en Normandie et dans le Nord à partir de la seconde moitié du XXème siècle. Près de la moitié de la production nationale serait aujourd'hui cultivée dans ces régions, la Bretagne Nord, La Normandie et le Poitou-Charentes étant les principales zones de production.

3.3.2 Technique de production sur bouchot

Cet élevage se pratique sur des alignements de pieux (les bouchots) plantés sur l'estran.

Approvisionnement en naissain

Plusieurs pontes de moules ont lieu entre la fin de l'hiver et la fin du printemps. Des cordes en fibre de coco sont immergées à partir de mars/avril pour capter le naissain. Elles sont alors posées sur des structures appelées « chantiers à corde » installés sur l'estran ou suspendus sur les filières.

Mytilus edulis n'étant pas présente naturellement sur ces sites, les bassins de Bretagne Nord et d'Ouest Cotentin sont entièrement tributaires d'un approvisionnement extérieur en naissain. Les cordes sont acheminées à partir de mai/juin et proviennent des principaux centres de captage du Golfe de Gascogne (essentiellement des Saumonards et de Noirmoutier).

Garnissage des pieux

Les pieux sont ensemencés en flux tendu : les cordes découpées en tronçon sont enroulées autour des pieux au fur et à mesure que ceux-ci sont pêchés. La pose des cordes peut s'échelonner de mai à décembre. Pour les bassins du Golfe de Gascogne, les cordes sont généralement posées avant la fin de l'été.

La récupération de moules issues essentiellement du désépaulement des pieux, voire de la calibration ou encore de la pêche sur les rochers et les aussières de filières, permet le garnissage d'une partie des bouchots par boudinage. Ces moules sont concentrées dans un filet tubulaire qui est enroulé autour d'un pieu. Cette activité, plus ou moins pratiquée selon les bassins, peut représenter une charge de travail importante : dans les bassins du Golfe de Gascogne, elle est réalisée en continu durant l'été et l'automne voire le printemps suivant. En Bretagne Nord, Normandie ou en Baie de Somme, elle a lieu durant l'automne.

Travail sur les pieux

Les pratiques culturelles des principaux bassins se distinguent par la dominance d'un mode de garnissage et le travail pratiqué sur les pieux (V-4).

Lorsque les pieux sont fortement chargés, la couche extérieure de moules (pelisse) est récoltée. Cette phase de désépaulement permet un dédoublement des pieux par la réalisation du boudinage et un ajustement de la densité d'élevage.

Le catinage est une opération qui consiste à placer un filet sur le pieu pour favoriser la fixation et limiter la perte de moules en excédent. En général, deux filets sont posés en fin d'été ou à l'automne et un deuxième au printemps. Le premier catin est posé lorsque le naissain a recouvert le pieu, le second peut être placé avant la pousse de printemps de manière à limiter la perte de moules avant la récolte.

En fonction des pratiques culturelles, le catinage pourra être privilégié au dépend du désépaulement : dans certains secteurs, jusqu'à 7 filets peuvent être posés.

Périodes de récolte

La pêche est généralement mécanisée (utilisation d'une « pêcheuse »), certains producteurs pratiquant encore une pêche traditionnelle « au râteau ».

Les moules sont pêchées de juin à janvier lorsque la qualité (notamment le remplissage) est optimale. Pour certains secteurs, la récolte est beaucoup plus étalée : elle dure 10 mois en Baie de Somme et des ventes se font en avril en Bretagne Nord (moules de Pâques).

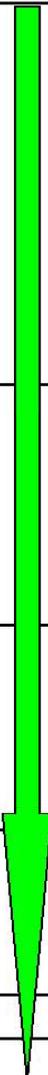
La récolte débute plus précocement dans le Sud : dans les Pertuis, les ventes démarrent en mai avec les moules produites sur filières, la pêche des bouchots débutant en juin.

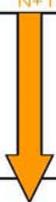
En Bretagne, la récolte démarre à partir de juillet. Elle est plus tardive en Normandie, la plus grosse partie des pêches étant effectuées entre août et novembre.

La durée d'élevage d'une moule varie entre 12 et 18 mois à partir du garnissage d'un pieu. Jusqu'à trois cohortes (moules de l'année, 1 et 2 ans) peuvent coexister sur les bouchots. La culture de moules de deux ans reste cependant très minoritaire : cette stratégie peut être purement commerciale en permettant de fidéliser une clientèle locale par une extension de la période de vente (Bretagne Nord, Normandie, Baie de Somme). Elle peut également résulter d'un choix zootechnique les années où les croissances sont faibles. Cette pratique s'avère en général plus subie que volontaire notamment ces dernières années en raison des mauvaises croissances enregistrées. En effet, un pieu immobilisé pour produire de la « 2 ans » ne permet qu'une récolte sur deux et reste soumis un hiver de plus aux tempêtes et à l'action des perceurs déjà installés.

3.3 Description d'un cycle d'élevage

Un cycle d'élevage complet du captage à la récolte est présenté pour une moule captée l'année « N ». Des photos illustrent les différentes étapes (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

Année N N+1 N+2	Opération	Période	Description	
 	Captage	février - avril	 	<p><u>Pose des cordes de captage</u> sur chantiers à terre ou filières février à avril</p> <p><u>Captage sur les cordes</u> de fin février à fin mai</p> <p><u>Réception des cordes captées</u> avril à juin</p> <p><u>Entreposage sur des chantiers</u> mai à décembre</p>
	Gamissage des pieux	mai - décembre		<p><u>Pose des cordes captées sur les pieux</u> mai à décembre</p>
	Catinage	après la pose été automne		<p><u>Catinage</u> Pose d'un filet quand les moules recouvrent le pieu Plusieurs stratégies: de 1 à 7 catins par pieu jusqu'à tous les 1,5 mois en période de pousse</p>
	Boudinage	automne		<p><u>Limitation de la densité par pieu</u> - Collecte de la pelisse (couche externe du pieu) - Collecte des moules en excès sur le pieu (ex: surcaptage) - Collecte des moules en excès sur filières (aussières et bouées)</p> <p><u>Deux débouchés:</u> - Elimination</p> <p>- Boudinage: les moules sont placées dans une "chaussette" qui permet d'ensemencer de nouveaux pieux</p> <p>Plusieurs opérations de boudinage peuvent être réalisées en fonction des parcours techniques choisis.</p>
	Changement des pieux	Hiver		
Boudinage &/ou catinage	printemps			

Année N N+1 N+2	Opération	Période	Description
 	Pêche	juin - décembre	 <p><u>Pêche mécanisée</u> Utilisation d'une pêcheuse Quelques cas de pêches "au rateau"</p> 
	Changement des pieux	Hiver	
	Pêche	janvier - février	
	Pêche "moules 2 ans"	avril - juin	

Durée standard du cycle (depuis le garnissage d'un pieu): 12 à 18 mois

4. Recensement des problèmes mytilicoles

4.1 Déroutement des enquêtes

Des enquêtes de terrain ont été menées auprès des mytiliculteurs. La mise en relation avec les professionnels s'est faite via le Conseil National (CNC) et les Conseils Régionaux de la Conchyliculture (CRC) en lien avec les LER (Laboratoires Environnement Ressources de l'Ifremer) des régions concernées.

Ces rencontres avaient pour objectifs principaux :

- 1) de décrire les zones d'élevage et les pratiques culturelles ainsi que leurs évolutions historiques,
- 2) d'identifier les points de blocage rencontrés et de les hiérarchiser,
- 3) de dégager les tendances observées sur ces dernières années,
- 4) de noter les sujets d'inquiétude et d'établir une vision de l'avenir de la profession,
- 5) de décrire les attentes particulièrement dans les domaines scientifique et technique.

Ces deux derniers points permettront d'évaluer la pertinence d'un réseau national de suivi des performances mytilicoles ou d'autres formes d'accompagnement qu'elles soient administratives, scientifiques ou techniques. Ces enquêtes ont été complétées par des sorties sur le terrain avec les professionnels.

La mise en place d'un questionnaire sur les performances mytilicoles transmis par les CRC (Annexe 5) a permis d'affiner et de quantifier les tendances observées.

Une synthèse bibliographique portant sur les rapports et études réalisés localement a permis d'approfondir ces thématiques. Dans chacune des zones prospectées, le travail a été effectué en relation avec les équipes locales de l'Ifremer, des centres techniques et les chargés de mission des CRC. Nous nous sommes également attachés à distinguer ce qui, parmi les points de blocage identifiés, relevait de problèmes récurrents ou conjoncturels.

Le recensement a concerné l'ensemble des bassins produisant plus de 2 000 tonnes sur les façades Manche/Atlantique (mais aussi des secteurs moins importants tels que La Plaine ou l'Arguenon). La carte ci-dessous présente la localisation des principales zones d'élevages ayant été consultées avec les territoires des CRC correspondant. La liste des personnes rencontrées pour établir ce diagnostic est présentée en annexe 3.



Figure 4.1 : Zones de production de moules de bouchot prospectées dans le cadre de cette étude et territoires des CRCs des façades Manche/Atlantique correspondants.

Les représentants de la profession ayant été consultés en priorité, cette synthèse ne reflétera pas nécessairement les opinions de tous les mytiliculteurs d'un bassin. L'enquête sur les performances mytilicoles a cependant permis de compléter l'information sur d'autres bassins (Utah, Rade de Brest, Chausey) et auprès d'un plus grand nombre de professionnels (43 entreprises dont 18 en Baie du Mont Saint Michel).

4.2 Hiérarchisation des problèmes rencontrés

Par rapport à l'objectif de cette étude, une hiérarchisation basée sur une distinction entre des problèmes récurrents et conjoncturels s'avérait nécessaire.

« L'objectif général de cette action est de recenser et interpréter les problèmes rencontrés ces dernières années dans les différents bassins mytilicoles des façades Manche-Atlantique, à partir des informations disponibles et collectées en matière d'environnement et de pratiques d'élevage. » (Convention DPMA-Ifremer 2012).

La profession fait état de problèmes conjoncturels apparus ces dernières années, qui paraissent communs et concomitants dans plusieurs bassins d'élevage des façades Manche/Atlantique : certains peuvent relever de problématiques déjà anciennes (problèmes « récurrents ») et d'autres être spécifiques à ces dernières années (problèmes conjoncturels). Ces dernières années, des événements singuliers ont en effet été relevés simultanément dans plusieurs des bassins d'élevage étudiés (par exemple les baisses de performance constatées en 2010 et 2011). **L'objet de cette étude est de recenser ces phénomènes conjoncturels, c'est-à-dire liés à des circonstances particulières qu'il s'agira d'identifier.** Les points de blocage spécifiques à certains sites seront évoqués, mais pas approfondis ici (car relevant d'études régionales).

Les problèmes récurrents ont été classés en cinq catégories :

- dépendance pour l'approvisionnement en naissain,
- prédation et parasitisme,
- problèmes résultant d'actions biologiques indirectes (« Graissain », dégrappages, compétition trophique...),
- fermetures de zones liées à des problèmes d'assainissement ou d'efflorescences à algues toxiques,
- conflits d'usage (pour l'eau douce, le territoire ou la ressource trophique).

4.3 Problèmes récurrents

4.3.1 Approvisionnement en naissain

Deux espèces de moules sont présentes naturellement sur les façades Manche/Atlantique : *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis*. Nicolas Bierne identifiait dans sa thèse l'aire de répartition de ces deux espèces en Europe (Bierne, 2001, Figure 4.2). Il y a des régions où les deux espèces co-existent : il semble que ce soit le cas d'une zone englobant la Bretagne Sud et la Vendée, des individus de type *Galloprovincialis* étant identifiés sur l'Île d'Yeu. Ces régions peuvent aussi être des zones d'hybridation (Baie de Quiberon). Sur les façades Manche/Atlantique, seule *Mytilus edulis* est élevée. Le choix de cette espèce est surtout lié au remplissage : avec une saison de ponte plus marquée, les périodes de vente restent les mêmes d'une année sur l'autre avec un produit de bonne qualité. *Galloprovincialis* est cultivée en Méditerranée et en Galice. En Baie de Saint Brieuc, il existe une demande locale pour des moules à Pâques. L'élevage de *M. galloprovincialis* dont les cycles de reproduction sont distincts de *M. edulis* permettait de satisfaire cette demande avec un produit bien rempli (Rougerie, 1991). Cette pratique a cependant disparu avec la mécanisation.

L'absence de captage de moules dans l'Ouest Cotentin et la dominance de *Galloprovincialis* en Bretagne Nord entraîne une dépendance totale pour l'approvisionnement de ces bassins dont le développement date de la seconde moitié du vingtième siècle. Les sites traditionnels d'élevage dans le Golfe de Gascogne sont tous autonomes. Les principaux centres de captage sont localisés sur l'île de Noirmoutier et aux Saumonards sur l'île d'Oléron. Des cordes provenant d'autres sites des Pertuis, de la Plaine ou plus rarement de Baie de Vilaine peuvent être aussi utilisées dans les bassins non-captants. Les producteurs tributaires d'un approvisionnement externe diversifient fortement leurs sources et surévaluent leurs besoins pour tenir compte des aléas du captage. Les cordes sont reçues de la mi-avril à la mi-juin et sont stockées sur des chantiers. Les producteurs de bassins captants peuvent également diversifier leur approvisionnement, c'est notamment le cas en Baie de Vilaine et en Baie de Somme.

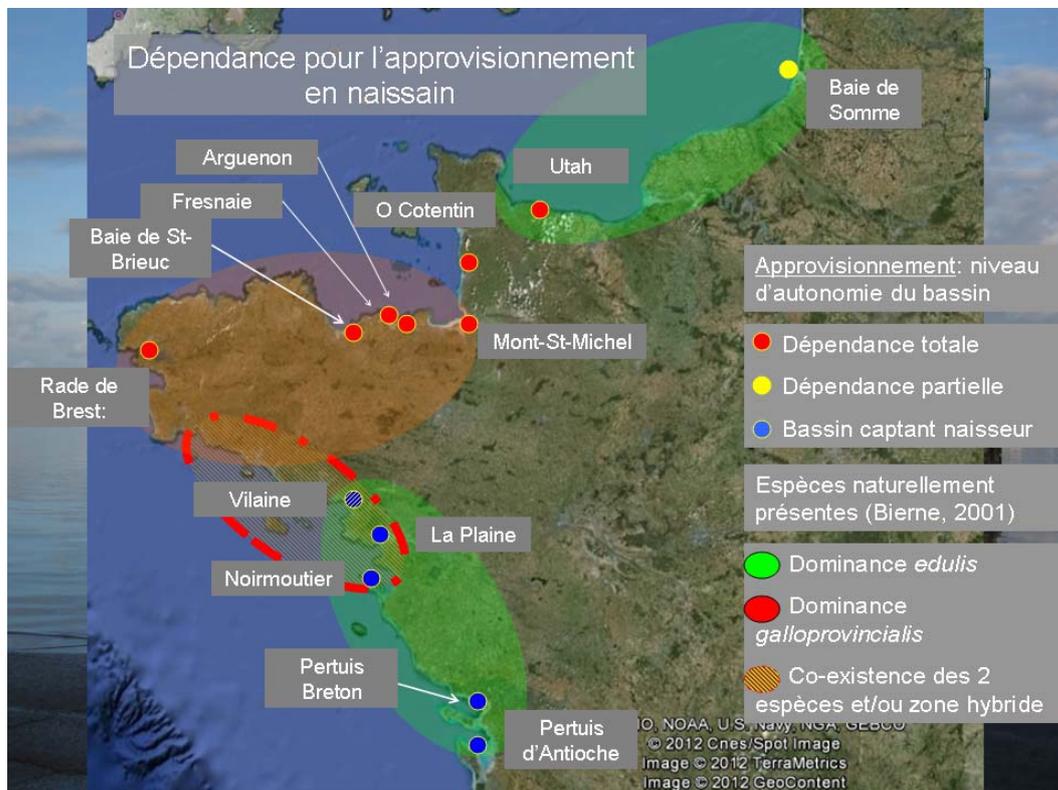


Figure 4.2 : Aire de répartition des espèces *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis* (d'après Bierne, 2001) et statut des bassins d'élevage pour l'approvisionnement en naissain.

Cette dépendance pour l’approvisionnement peut constituer un point de blocage potentiel notamment si les sources sont peu diversifiées. Au début des années 90, un déficit de captage dans les Pertuis a entraîné une baisse conséquente de la production non seulement sur ces sites (Dardignac-Corbeil & Prou, 1995) mais aussi dans les bassins de Bretagne Nord (Gasquet, 1996). En 2012, le captage s’est avéré déficitaire en Baie de Vilaine (Site de Pont-Mahé) et à Noirmoutier. Dans les Pertuis, les problèmes d’approvisionnement ont en grande partie été résolus avec la mise en place des filières à partir de 1991 (Garen, Robert, 2004).

Malgré cette dépendance forte à une source extérieure de naissain pour de nombreux producteurs, aucun des mytiliculteurs interrogés ne souhaite d’un approvisionnement qui serait issu d’une écloserie.

4.3.2 Prédation et parasitisme

4.3.2-a Prédation par les oiseaux

Présents sur tous les sites mytilicoles, les goélands s’attaquent de préférence aux jeunes moules et peuvent causer d’importants dégâts. Cette prédation est notamment problématique en Baie de Vilaine. Des populations migratrices de canards plongeurs (eiders, *Somateria mollissima* et macreuses, *Melanitta nigra*) peuvent également occasionner une perte considérable sur les bouchots pendant l’hiver. En Normandie, les producteurs observent une accentuation du phénomène depuis 2008 et craignent une sédentarisation de ces espèces.

Plusieurs méthodes de lutttes sont utilisées :

- un gardiennage et des dérogations exceptionnelles autorisant le tir limitent fortement ces prédations en baie de Saint Brieuc, baie du Mont Saint Michel et dans le Pertuis Breton ;
- en Normandie, une gaine individuelle de protection est placée sur chaque pieu pendant l’hiver contre les eiders. Elle est retirée en mars avant que la pousse ne reprenne. Cette méthode est coûteuse en matériel et en main d’œuvre mais elle est indispensable pour éviter une destruction de la récolte.

Pour se prémunir de la prédation sur le naissain par les goélands, les mytiliculteurs en baie de l’Arguenon utilisent un système de protection comparable à des lignes téléphoniques. Ces filins gênent le vol des goélands autour des pieux (figure 4.3).



Figure 4.3 : Système « télégraphique » et « tahitiennes » au bas des pieux pour protéger le naissain de la prédation par les oiseaux et les crabes en baie de l’Arguenon (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

4.3.2-b Prédation par les perceurs

Les bigorneaux perceurs peuvent occasionner des dégâts très importants sur les concessions. **Une recrudescence a été signalée pour la saison 2012 en Cotentin et en Baie de Saint Brieu.** Selon un producteur des Pertuis, les perceurs auraient été introduits dans ce secteur vers la fin des années 60 avec des lots de *galloprovincialis* de Bretagne.

Une enquête réalisée par le SMEL en 2001 avait permis d'évaluer l'impact de cette prédation sur les productions conchylicoles bas-normandes (Jahier, A., Basuyaux, O. 2001). Concernant la mytiliculture, l'espèce *Nucella lapillus* prédominait largement. La perte moyenne de production était à l'époque évaluée à 12,5% avec des coûts de lutte de l'ordre de 12 000 frs par an et par entreprise.

Ce problème est donc déjà ancien sur la partie Ouest Cotentin et touche surtout les secteurs à substrats stables ou constitués de sables grossiers. Les terrains vaseux sont généralement épargnés. Une densité plus forte est observée en haut d'estran et pour les pieux portant des moules de 2 ans. Ces dernières étant majoritairement présentes sur les zones les moins poussantes souvent situées en haut d'estran, il apparaît difficile de distinguer l'effet durée d'élevage de l'effet bathymétrie.

L'impact sur un pieu est lié à la fois à la prédation mais surtout à l'action de sape des perceurs qui attaquent préférentiellement les moules de la partie sous-jacente ce qui entraîne le décrochage de la partie superficielle. Cet égrappage est à distinguer des décrochages associés à une faiblesse du byssus caractéristiques de ces dernières années.

Les contaminations peuvent être d'origine locale ou exogène (dans les sites où des cordes issues d'autres bassins sont utilisées). Le développement des larves se fait majoritairement à l'intérieur d'une capsule protectrice contenant les œufs. **Ce mode de vie entraîne une dispersion par les courants très limitée voire nulle.** Cependant, les populations adultes sont mobiles, les déplacements semblant être orientés par la marée. Des températures extrêmes pourraient déclencher des mouvements vers le large en été ou un ensablement en hiver. Des agrégations d'individus sont observées en hiver ou encore pour la reproduction au début du printemps. La température influence l'activité de prédation. Plusieurs producteurs remarquent également que les hivers rigoureux sont néfastes aux perceurs, alors qu'on observe une recrudescence après un hiver doux. Cette espèce est également sensible aux dessalures.

La méthode de lutte traditionnelle utilisée consiste en un ramassage systématique et une destruction. Les quantités prélevées peuvent être impressionnantes : 600 kilos sur une seule concession pendant 5 jours de ramassage (producteur, communication personnelle). Ces coquillages ne sont pas valorisés à l'heure actuelle, cependant des débouchés pourraient être envisagés pour la production de pigments naturels (Agnès Lanoelle – Sud-Ouest – Fouras, 27/04/2011). En 2001, une pratique irrégulière du ramassage était évoquée comme une des causes pouvant expliquer une recrudescence des perceurs en Ouest Cotentin (Jahier, Basuyaux).

Cette même étude a montré que l'infestation par les cordes issues de certains sites de captage pouvait être très importante. Des techniques de saumurage (trempage dans une solution très salée) dès la réception des cordes s'avèrent prometteuses pour éliminer les perceurs (C. Charbonnier, réunion CNC groupe II, 23/10/12). Une bonne résistance des moules à des changements de salinité permet d'utiliser cette technique en routine pour éliminer le captage d'étoiles de mer sur filières dans les provinces maritimes canadiennes (Rodriguez, 2009). La salinité de la solution et la durée de trempage doivent être ajustées pour ne pas tuer les moules en même temps que les prédateurs.

Les producteurs constatent une recrudescence de perceurs sur les pieux laissés trop longtemps en élevage. D'une part, les moules de 2 ans seront plus touchées par le travail de sape des perceurs. D'autre part, la période de reproduction débutant au début du printemps, il apparaît préférable de se débarrasser de ces pieux avant. Ceux-ci constituent probablement des zones de concentrations de géniteurs et des pouponnières pour les juvéniles.

En résumé, il n'existe pas de remède miracle contre les perceurs et le ramassage doit être généralisé pour être efficace :

- ramassages fréquents et destruction systématique des perceurs ;
- limitation des contaminations :

- d'origine extérieure.

Par un saumurage des cordes à la réception (la durée de trempage et la salinité de la solution doivent être ajustées pour ne pas tuer les moules) (C. Charbonnier, réunion CNC octobre 2012).

- d'origine locale.

par un ramassage sur toutes les concessions,
par une diminution du stock de moules âgées pour limiter les contaminations d'origine locale. Les pieux de « 2 ans » concentrent les géniteurs au printemps et servent de pouponnières pour les juvéniles.

4.3.2-c Prédation par les crabes

Plusieurs espèces de crabes peuvent exercer une prédation sur les moules :

- les crabes verts (*Carcinus maenas*) s'attaquent surtout au naissain,
- certaines années, des invasions d'araignées (*Maja sp.*) peuvent causer d'importants dégâts sur les pieux en Bretagne Nord et Normandie.

Plusieurs types de protection sont utilisés en fonction des pratiques culturales :

- des tahitiennes (figure 4.3) sont généralement placés en bas des pieux pour éviter que les crabes ne montent lorsque les moules sont encore de petite taille.
- l'utilisation de cônes en Baie du Mont Saint Michel permet d'ensemencer dès le mois d'avril sans qu'il n'y ait de problèmes de prédation par les crabes.

4.3.2-d Prédation par les daurades

Une observation faite en juin 2012 en Baie de l'Arguenon accredit l'hypothèse de prédation par daurades. Le LER Dinard a été contacté par un mytiliculteur de la Baie de l'Arguenon signalant des pertes anormales de moules. Lors d'un déplacement réalisé le 20 juin, des trous ont pu être observés sur une grande partie des pieux de la zone (figure 4.4). La tenue du byssus était bonne (ce n'était pas le cas quelques semaines plus tôt). Les mytiliculteurs ont posé un grand nombre de filets au printemps pour limiter les décrochages : de 4 à 7 catins au lieu de 2 à 3 en temps normal. Peu de moules mortes ont pu être observées, celles-ci étant emportées par la marée. Quelques coquilles cassées ont cependant été décelées (figure 4.4). La brisure nette des coquilles et l'orientation régulière des zones impactées sur les pieux peuvent faire penser à des attaques de daurades (*Sparus aurata* ?), hypothèse la plus plausible. La tenue du byssus est un problème distinct et a également été évoqué dans la plupart des bassins.



Figure 4.4 : Observations de dégâts sur les pieux attribués à des prédateurs (flèche blanche). L'observation de coquilles brisées (rond rouge) peut être un indicateur de leur action (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

Un producteur de la rade de Brest signale également une forte prédation par les daurades royales (*Sparus aurata*) en 2008, 2010 et 2011 en rivièrre de Daoulas. Cette prédation peut être dévastatrice sur filières : le développement de cette activité en Méditerranée a été enravé par des pertes catastrophiques. Un producteur installé récemment sur l'Île d'Yeu est particulièrement touché depuis plusieurs années. Ce problème n'a jusqu'à présent jamais été signalé pour les filières des Pertuis.

Un programme de recherche (PREDADOR) est initié en Bretagne pour développer des méthodes de lutte et de protection efficaces.

4.3.2-e Prédation par les étoiles de mer

Une recrudescence d'étoiles de mer a causé d'importants dégâts en 2010 et 2011 sur certains bassins. Cette prédation a été considérée comme un des problèmes conjoncturels caractérisant ces dernières années et sera traitée dans la partie 8.

4.3.2-f Parasitisme par le copépode *Mytilicola intestinalis*

De nombreux parasites sont recensés chez les moules. Le copépode *Mytilicola intestinalis* est le plus connu car des mortalités massives lui ont été attribuées à partir des années 50. Les premiers cas ont été relevés sur les côtes hollandaises puis en Charente vers la fin des années 50 et enfin dans la Baie du Mont Saint Michel entre 1962 et 1975 puis en 1982. Ces infestations largement amplifiées par de fortes densités d'élevage ont entraîné une modification radicale des pratiques dans les bassins impactés :

- migration de mytiliculteurs vers les sites nord bretons, éclaircissement des bouchots, abandon du clayonnage et développement des techniques de captage sur cordes en Charente et Vendée ;
- limitation des densités par des restructurations drastiques en Baie du Mont Saint Michel.

Suite à une baisse des taux de chair en 2009, le SMEL a été mandaté pour réaliser une étude destinée à recenser la prévalence de ce parasite dans le département de la Manche (Basuyaux O., Forêt M., Chataigner C.). Bien que sans commune mesure avec les taux d'infestation relevés lors des épisodes de mortalités massives, les densités observées sur la Côte Ouest du Cotentin pourraient fragiliser les moules et induire une baisse du remplissage. L'infestation est beaucoup plus marquée à l'automne avec une prévalence supérieure à 90% et plus de 3 parasites par moule en moyenne. Les moules laissées sur site deux hivers d'affilée sont beaucoup plus parasitées que celles d'un an ce qui milite encore en faveur d'une limitation de cette pratique.

4.3.2-g Parasitisme par le crabe *Pinnotheres pisum*

Ce crabe s'installe dans la cavité palléale de bivalves qui lui fournissent à la fois « gîte et couvert » (pseudo fèces). Sa présence peut endommager les branchies et créer une gêne pour l'hôte. Ce parasitisme n'est pas très dommageable pour la moule, cependant il n'est pas particulièrement apprécié du consommateur. Il s'agit avant tout d'un problème de qualité du produit, les moules de bouchot semblent cependant peu infestées par ce parasite.

4.3.2-h Récapitulatif par secteur des problèmes de prédation/parasitisme

Le tableau suivant relève les principaux problèmes de prédation ou de parasitisme évoqués lors des rencontres avec les professionnels. Une croix est marquée lorsque ce problème a été évoqué et deux croix lorsqu'il a été décrit comme particulièrement handicapant ou menaçant.

Prédation / Parasitisme	Perceurs	Etoiles	Oiseaux		Poissons (<i>Sparus aurata</i>)	Mytilicola
			Goelands	Canards		
Baie de Somme						
Normandie	XX			XX		X
Baie du Mont St-Michel				XX		
Baie de l'Arguenon/Fresnaie	XX		X		XX	
Baie de St-Brieuc	XX		X			
Rade de Brest					XX	
Baie de Vilaine		XX	XX		X	
La Plaine		XX				
Ile d'Yeu					XX	
Pertuis Breton	X	X (Roulières)	X			
Boyard	XX				?	

Figure 4.5 : Principales menaces résultant d'actions biologiques directes évoquées lors des rencontres.

4.3.3 Problèmes résultants d'actions biologiques indirectes

4.3.3-a Problème de « Graissain » et d'envasement des bouchots en baie de Somme (Ropert, Olivési, 2002)

Ce phénomène est apparu pour la première fois en Baie de Somme en 1996 avec des conséquences désastreuses pour la production. Depuis, l'envasement apparaît de manière récurrente tous les printemps mais avec une ampleur moindre. Le placage de « vases » sur les pieux et les cordes peut créer une gangue épaisse de plusieurs centimètres d'épaisseur entraînant la mort des moules par asphyxie. Le développement de cet envasement est directement associé à la présence d'annélides tubicoles de la famille des Spionidae (*Polydora sp.*). L'existence d'un stade larvaire pélagique pour ces espèces leur autorise une grande capacité de dispersion. Il semble que les géniteurs soient localisés au Sud de la Baie de Somme sur un platier rocheux. Les méthodes de lutte adoptées depuis sont locales. Le *Polydora*, une fois décroché, n'est pas capable de recoloniser son support : un nettoyage des pieux à la lance à eau permet de limiter son développement.

4.3.3-b Décrochages associés au développement de macro-algues

Normandie : des décrochages associés au développement de Sargasses (*Sargassum muticum*)

Introduite avec l'huître japonaise dans les années 70, le développement de cette algue semble s'être accentué ces dernières années particulièrement en 2011. Son action sur les moules est purement physique : par frottement, elle entraîne un décrochage sur les cordes ou sur les pieux. Ces algues peuvent aussi servir d'abris aux prédateurs et gêner la circulation des tracteurs.

Bretagne Nord : algues vertes et dégrappages des moules

Comme pour les sargasses en Normandie, les proliférations d'algues vertes en Bretagne Nord ont un impact sur la mytiliculture. Seul un ramassage régulier ou une réduction des apports en nutriments par les bassins versants peut limiter l'impact de ces proliférations.

4.3.3-c Asphyxies associées au développement de blooms à *Lepidodinium chlorophorum*

Lepidodinium chlorophorum est un dinoflagellé dont les proliférations génèrent des eaux vertes. Cette espèce apparaît régulièrement dans les comptages de flores phytoplanctoniques à l'est du Mor-Bras (Bretagne Sud) durant l'été et au début de l'automne. Dans des conditions particulières, ces blooms peuvent générer des mortalités massives de moules et plus particulièrement du naissain. En 1995, des mortalités massives ont impacté les secteurs de Baie de Vilaine et de la Plaine sur mer. Celles-ci étaient liées à une asphyxie des moules recouvertes d'une couche muqueuse d'algues amplifiée par le développement de conditions anoxiques sur ces secteurs. En 2012, des blooms très importants ont été constatés à partir de fin juillet sur ces deux mêmes secteurs.



Figure 4.6 : « Eaux vertes » liées à un bloom à *Lepidodinium chlorophorum* et observation de dépôts muqueux sur les moules en Baie de Vilaine le 23 juillet 2012 (photos : M. Retho, LER-MPL)

4.3.3-d Compétition trophique allospécifique (ou entre filtreurs)

La crépidule (*Crepidula fornicata*) est une espèce introduite invasive et prolifique qui se révèle problématique pour les élevages conchylicoles. En se nourrissant sur les ressources en plancton partagées aussi par les huîtres et moules placées en élevage, cette espèce contribue à une limitation de la capacité trophique d'un secteur. Des bancs de crépidules peuvent limiter la ressource trophique disponible dans les baies de l'Aiguillon, de Bourgneuf, de Saint-Brieuc, du Mont Saint Michel et dans l'Ouest Cotentin. Par ailleurs, la saisonnalité des blooms pourrait être modifiée : en baie du Mont Saint Michel, il semblerait que les crépidules écrètent les pics de printemps. La minéralisation des fèces permettrait une remise à disposition des nutriments ce qui expliquerait des plateaux d'abondance de chlorophylle (D. Gerla, communication personnelle).

Dans le rapport du programme Liteau 3 (Cugier et al. 2010), des simulations de scénarios quant à l'évolution d'un stock de crépidules et à son impact sur la conchyliculture ont été proposées en baie du Mont Saint Michel. Basée sur l'utilisation de modèles hydro-dynamiques, de production primaire et de croissances individuelles des moules et des huîtres, cette méthode présente l'avantage de pouvoir évaluer l'effet de cette compétition trophique sur les productions.

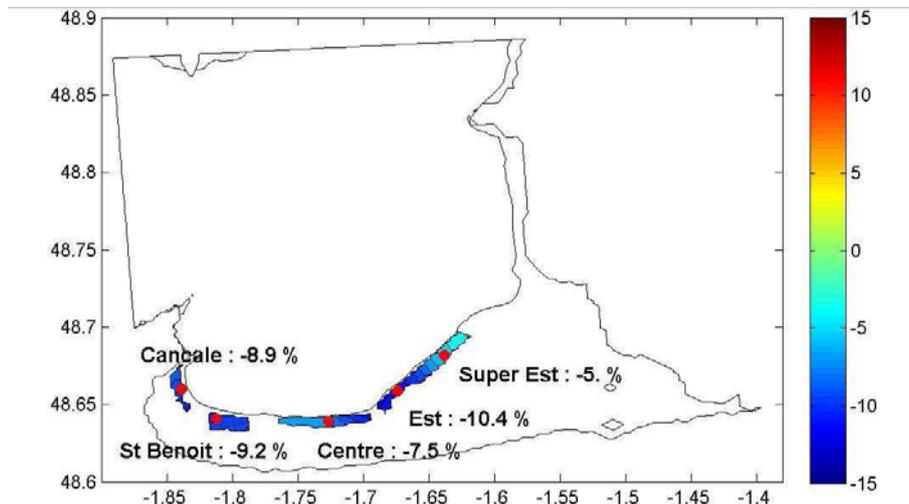


Figure 4.7 : Scénario d'une biomasse de crépidules de 210 000 tonnes (Augmentation de 17%) – Écarts simulés à la référence (%) du poids des huîtres et des moules après une année de croissance. (Cugier et al., 2010)

4.3.3-e Compétitions trophiques intraspécifiques (ou entre moules)

Surcapage de moules

L'existence d'un captage de moules, s'il constitue un avantage certain pour l'approvisionnement de l'année suivante peut néanmoins devenir un handicap pendant la phase de grossissement. Dans les bassins captants du Golfe de Gascogne (figure 4.2), le surcapage sur les moules destinées à être pêchées induit une compétition trophique sur les pieux dès le printemps. Ce naissain lorsqu'il est très abondant est parfois collecté sous forme de pelisses puis boudiné.

Gestion des chantiers de captage

Pour les bassins non captants (figure 4.2), un questionnement sur la gestion des chantiers revient souvent. Leur densité est régulée par le schéma des structures ; cependant, les mytiliculteurs s'interrogent sur l'impact d'une arrivée massive de naissain sur les moules en grossissement. Certains souhaiteraient que les zones de stockage soient distinctes des bouchots ce qui permettrait par ailleurs une limitation de contaminations potentielles (perceurs, mytilicola,...).

Capacité de support des bassins d'élevage

Plusieurs producteurs ont évoqué un dépassement de la capacité trophique (ou encore capacité de support) pour certains sites d'élevage. La compétition pour la nourriture se fait entre un trop grand nombre de moules en grossissement s'alimentant sur une même ressource qui devient limitante. Il s'avère dans ce cas nécessaire de diminuer la biomasse en élevage pour maintenir une production durable. Ces notions de capacité de support reflètent une réalité qui, bien que tangible pour les producteurs, s'avère difficile à évaluer sans le recours à des modèles complexes. Les travaux de l'Ifremer Port en Bessin dans le cadre du programme « Ogive II » visent à proposer des outils de gestion permettant de mieux appréhender les capacités de support des écosystèmes conchylicoles en Normandie.

4.3.3-f Récapitulatif des problèmes résultants d’action biologiques indirects

Le tableau suivant relève les principaux problèmes résultants d’actions biologiques indirectes évoqués lors des rencontres avec les professionnels. Une croix est marquée lorsque ce problème a été évoqué et deux croix lorsqu’il a été décrit comme particulièrement handicapant ou menaçant.

Action biologique indirecte	Graissain	Algues (Vertes, Sargasses)	<i>Lepidodinium chlorophorum</i>	Compétition trophique allospécifique Crépidules	Compétition trophique interspécifique		
					Sur captage 	Gestion des chantiers 	Densités sur les sites d'élevage 
Baie de Somme	XX				X		
Normandie		X		X		X	X ?
Baie du Mont St-Michel				XX		X	X ?
Baie de l'Arguenon/Fresnaie		X					
Baie de St-Brieuc		X					
Baie de Vilaine			XX		X		X ?
La Plaine			X		X		
Pertuis Breton				X	X		
Boyard					X		

Figure 4.8 : Principales menaces résultant d’actions biologiques indirectes évoquées lors des rencontres.

4.3.4 Fermetures de zones

Les fermetures de sites peuvent avoir un impact considérable sur les performances d’une entreprise conchylicole. Elles entraînent une désorganisation du travail, ce qui, en période de récolte, peut avoir des répercussions économiques majeures:

- difficultés pour écouler la production plus tardivement,
- non satisfaction de la demande et perte éventuelle de clientèle,
- mauvaise image du produit,
- décalage du planning de garnissage des pieux induisant une perte de naissain sur les cordes ce qui peut avoir un impact sur la production de l’année suivante.

Un grand nombre d’employés saisonniers étant embauchés durant l’été, ces fermetures peuvent également avoir un impact social important.

4.3.4-a Salubrité des sites mytilicoles.

Les suivis sanitaires de contamination des coquillages sont basés sur l’étude des concentrations en *Escherichia coli*, bactérie utilisée comme indicateur de la contamination fécale. Les sites d’élevage mytilicole sont classés en zone A ou B en fonction de seuils de contamination définis par la réglementation (Règlement CE n°854/2004) Le classement en B impose une purification préalable en bassins alimentés en « eau propre ». La surveillance des zones est assurée par l’Ifremer dans le cadre du réseau REMI et des contrôles à l’expédition sont effectués par les services vétérinaires.

Sur la majorité des bassins d'élevage, les mytiliculteurs disposent d'agrément et d'installations destinées à la purification. La probabilité d'un arrêt complet de l'activité pendant plusieurs jours est faible sur les sites où les mytiliculteurs sont équipés de manière adéquate. D'une manière générale, les producteurs constatent des progrès en matière d'assainissement avec une diminution des rejets sauvages. Les résultats du réseau REMI montrent pourtant une dégradation significative pour plusieurs bassins sur la période 2002-2011 (Bulletins de la surveillance 2011, cf. Figure 4.10).

Les sites du Pertuis Breton s'avèrent être les plus menacés en cas de déclassement de la zone ou d'alertes. En effet, une minorité de professionnels disposent d'installations à terre, la totalité du travail étant généralement effectuée à bord. Ces zones bénéficient d'un classement en A provisoire du 1^{er} mai au 30 octobre. La purification n'est donc pas obligatoire. Bien que la qualité de l'eau s'améliore depuis 10 ans (figure 4.10), un durcissement de la réglementation sur le classement des zones pourrait bouleverser les pratiques de ce bassin. Cette menace doit être sérieusement prise en compte par les professionnels de ce secteur.

4.3.4-b Efflorescences à micro-algues toxiques

Les efflorescences de phytoplancton toxique sont des phénomènes environnementaux dont l'occurrence semble plus fréquente ces dernières décennies (Perez Agundez et al. 2010). Les processus d'eutrophisation pourraient notamment contribuer à cette recrudescence. Le risque sanitaire majeur associé à ces événements impose la mise en place de réseaux de surveillance. En France, ce suivi est assuré dans le cadre du réseau REPHY. En cas de détection d'espèces toxiques dans l'eau, une recherche de toxines est réalisée dans les coquillages. Il n'existe pas à ce jour de procédures de sauvegarde ou de détoxification clairement identifiées : lors de fermetures, les répercussions économiques et sociales sont majeures pour les activités littorales.

Le risque de développement de blooms est très inégal en fonction des secteurs. Le plus souvent, les cas de fermetures recensés sont associés à des efflorescences à *Dinophysis* pour les bassins du Golfe de Gascogne.

Fermetures liées à la présence de *Dinophysis* (DSP)

Les algues du genre *Dinophysis* produisent une toxine diarrhéique à l'origine d'intoxications. Bien avant que ce phénomène soit expliqué, la « Croisicaise » désignait des diarrhées liées à la consommation de moules au mois de mai. Les efflorescences à *Dinophysis* sont très fréquentes en Baie de Vilaine et sur le secteur de la Plaine sur Mer. Elles ont en général lieu aux mois de mai et juin (Figure 4.9), les pêches ne débutant que début juillet en Baie de Vilaine. Cependant, certaines années, des fermetures peuvent avoir lieu en pleine saison de récolte ce qui impacte fortement l'activité (Figure 4.9).

Toxicité des coquillages liée à la présence du genre *Dinophysis* (réseau REPHY)

Observations à Kervoyal (Baie de Vilaine)

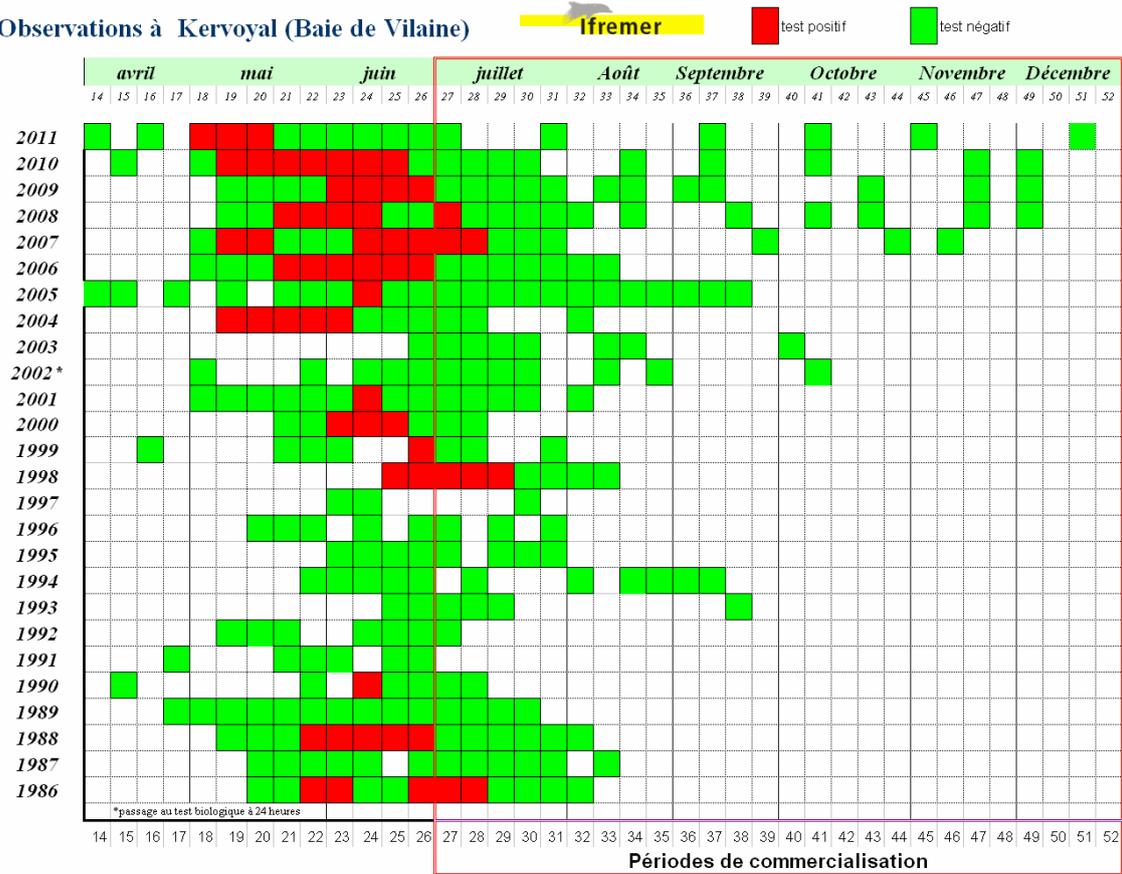


Figure 4.9 : Épisodes de toxicité de coquillages observés sur le site de Kervoyal en baie de Vilaine de 1986 à 2011 (2011, Jacky Chauvin, LER-MPL)

Ces efflorescences sont moins fréquentes dans les Pertuis. Cependant, en 2012, des fermetures en mai/juin ont eu de graves répercussions pour les productions sur filières. La commercialisation des moules se fait sur une période très courte avant que les récoltes sur bouchots ne démarrent (mai/juin). Le retard de pêche en pleine période de croissance entraîne à la fois un problème de commercialisation mais aussi un risque important de perte de récolte (maintien de la flottabilité des filières et décrochages sur les descentes).

Pertuis Breton : *Pseudo-nitzschia australis* et tempête Xynthia

Dans les Pertuis, les toxines amnésiantes étaient le plus souvent détectées sous forme de traces jusqu'en 2009. La tempête Xynthia de 2010 et l'inondation consécutive des zones riveraines a entraîné un apport important en nutriments favorable au développement de *Pseudo-nitzschia australis*. Dans les Pertuis, la toxicité des moules a duré tant que ces algues étaient présentes mais elle s'est maintenue dans les coquilles St Jacques. Les stocks de la Baie de Quiberon ont également été impactés durablement par cette efflorescence avec une fermeture de près de deux ans du gisement. Cet exemple, bien qu'ayant eu peu de répercussions pour les mytiliculteurs illustre bien le caractère non immuable des tendances relevées dans cet inventaire. La surveillance mise en place dans le cadre du REPHY permet de déceler l'apparition de nouvelles espèces d'algues ce qui semble essentiel dans le contexte actuel (introduction d'espèces et changement climatique).

4.3.4-c Recensement des risques de fermeture de zones

Le tableau suivant relève les principaux risques de fermeture évoqués lors des rencontres avec les professionnels. Cette liste est non-exhaustive.

Risques de fermeture	Efflorescences toxiques		Qualité microbiologique				
	Présence de <i>Dinophysis</i> (DSP)	Présence de <i>Pseudo-Nitzschia</i> (ASP)	Moules: Qualité microbiologique (REMI - 2002/2011)			Capacité de purification et de stockage en viviers	
			Tendance à la dégradation	Pas d'évolution significative	Tendance à l'amélioration		Qualité
Nord (bouchots)				4 points/4		Moyenne	OUI
Ouest Cotentin (bouchots)			7 points/9			Moyenne	OUI
Baie du Mont St-Michel (bouchots)			6 points/7			Moyenne	OUI
Baies de l'Arguenon/Fresnaie (bouchots)			2 points/2			Moyenne / Mauvaise	OUI
Baie de St-Brieuc (bouchots)			3 points/4			Moyenne / Mauvaise	OUI
Baie de Vilaine (bouchots)			2 points/4			Moyenne	OUI
La Plaine (bouchots)							OUI
Pertuis Breton (bouchots/filières)		2010 (Xynthia)			6 points/9	Moyenne	NON
Pertuis d'Antioche (bouchots/filières)				2 points/2		Moyenne	

Figure 4.10 : Recensement des risques de fermeture et des capacités de purification en vivier

4.3.5 Conflits d'usages

Selon Jeanneaux et Perrier-Cornet (2008), ce terme désigne, pour l'usage d'un même bien environnemental (territoire, ressource trophique, eau douce), une confrontation entre des usagers poursuivant soit un même but (conchyliculteurs), soit des buts antagonistes (mytiliculteurs et plaisanciers).

Les zones côtières françaises sont caractérisées par une pression anthropique élevée et des usages variés et parfois antagonistes :

- usages économiques et productifs,
- usages résidentiels et récréatifs,
- conservation.

Concernant la mytiliculture, les conflits principaux concernent l'usage des espaces, de la ressource trophique et des réserves en eau douce. La qualité des apports fluviaux, qui concentrent les rejets de plusieurs bassins versants, est en effet déterminante dans le maintien de la salubrité des zones conchylicoles et le développement des ressources trophiques. La question des ressources en eau a été régulièrement abordée : en tant que derniers utilisateurs, les conchyliculteurs subissent souvent les conséquences des usages amonts.

4.3.5-a Conflits pour l'usage de l'eau

Baie de Vilaine

Le cas le plus représentatif est celui du barrage d'Arzal en Baie de Vilaine. Sa construction a débuté en 1962 pour limiter les risques d'inondation à Redon. La mise en place du barrage a fortement accentué un phénomène naturel d'envasement. L'accumulation de sédiments, originaires de vasières au large et de la Loire, est amplifiée par une diminution des courants particulièrement en période d'étiage. L'envasement des zones de production mytilicole, accentué par l'implantation des bouchots, représente une menace importante pour la profession. Peu à peu, des sites mytilicoles ont dû être abandonnés simultanément à un redéploiement des parcs vers l'extérieur de l'estuaire.

L'IAV (Institut d'Aménagement de la Vilaine) est chargé des travaux de dévasement destinés à l'entretien du chenal. Ces dragages inquiètent la profession pour plusieurs raisons :

- relargage de phosphates et métaux lourds présents dans les sédiments.
- risques de mortalités associées à la remise en suspension de sédiments.

Ce réservoir est aujourd'hui utilisé comme stock en eau potable et pour la plaisance. Les débits peuvent être très limités en été ou en cas de sécheresse ce qui réduit les apports en nutriments favorables au développement planctonique. Les mytiliculteurs pensent que cette limitation nuit à la croissance des moules bien que la Baie de Vilaine soit connue comme une zone fortement eutrophisée. Malgré cette situation conflictuelle, les mytiliculteurs participent activement à la gestion de la zone. L'IAV concerte de manière efficace les différents acteurs et propose des études qui répondent à leurs interrogations. Le modèle hydrodynamique développé (Vested H.J., Bo Brahtz C. et al., 2009) a permis de mieux comprendre les processus d'envasement et a démontré que les dragages, effectués dans des conditions adéquates, pouvaient avoir un impact limité.

Pertuis breton

Une situation analogue apparaît pour les bouchots du Pertuis Breton, où les cultures de maïs se sont fortement développées dans la région à partir du milieu des années 70 et ont peu à peu remplacé les marais côtiers. Contrairement au cas précédent, le sentiment d'un manque d'écoute prédomine chez les mytiliculteurs. Des représentants de la profession participent cependant depuis peu aux réunions des irrigants. Les inquiétudes concernent non seulement la limitation des débits par l'irrigation pendant l'étiage mais surtout la qualité de l'eau qui est distribuée lors des lâchers. Les mytiliculteurs souhaitent être consultés sur :

- l'entretien des chenaux et la gestion des dragages
- la gestion des lâchers (automatisation des éclusages problématique)
- l'utilisation de produits phytosanitaires
- le partage de l'eau.

Compte tenu de l'absence de bassins de purification (Partie 4.3-4), les mytiliculteurs de ce bassin sont particulièrement sensibles au maintien de la qualité des apports dans le milieu marin.

4.3.5-b Conflits pour l'usage de l'espace

Les projets de filières (St-Coulomb, Malconche) se heurtent à l'opposition des plaisanciers, mais aussi des riverains. L'antagonisme entre usages récréatifs et productifs est souvent marqué et rappelle la problématique en zones périurbaines (agriculture et usages résidentiels). Ces conflits naissent souvent d'une mauvaise connaissance réciproque que pourraient parfois régler une communication adéquate et la concertation.

4.3.5-c Conflits pour l'usage des ressources trophiques

En conchyliculture, le phytoplancton constitue une ressource environnementale partagée par plusieurs utilisateurs. Elle peut être comparée à un stock halieutique dans le sens où une surexploitation implique une baisse de productivité pour l'ensemble des usagers. La notion de capacité trophique a été souvent évoquée en Normandie et en Baie du Mont Saint Michel. Ce dernier bassin constitue un exemple typique d'aménagement concerté des sites conchylicoles ; pourtant il demeure des tensions en lien notamment avec la répartition spatialement non homogène de cette ressource. Le traitement des résultats d'enquête obtenus en Baie du Mont Saint Michel est présenté en Annexe 1. La variabilité des points de vue exprimés illustre bien les difficultés de gestion d'un bassin d'élevage et le besoin en soutien scientifique pour accompagner les prises de décision.

4.3.5-d Recensement des principaux conflits d'usage

Le tableau suivant relève les principaux conflits d'usage évoqués lors des rencontres avec les professionnels.

Mytiliculture et conflits d'usage	Ressources en conflit			Usages en conflit	Remarque
	Eau douce	Territoire	Ressources trophiques	   	
Baie du Mont St-Michel	X		XX	Conchyliculture - Agriculture	
Projet Filières St-Coulomb / Cancale		XX		Usages résidentiels - Récréatifs - Pêche - Conservation	
Baie de l'Arguenon/Fresnaie	X			Agriculture	
Baie de Vilaine	XX	X		<u>Barrage d'Arzal</u> : Eau potable - Plaisance <u>Projet bouchots de Damgan</u> : usages récréatifs	Effort de communication et de concertation entre les acteurs (Actions IAV)
Pertuis Breton	XX			Agriculture (irrigation et rejets éventuels) - Conservation	Manque de concertation entre acteurs selon les mytiliculteurs
Filières de la Malconche		XX		Plaisance	
Pertuis d'Antioche		XX		Usages résidentiels - Conservation	

Figure 4.11 : Recensement des conflits d'usage : ressources et usages en jeu.

4.4 Problèmes conjoncturels en 2010-2012

Dans cette partie, nous identifierons les facteurs dont la recrudescence ces dernières années expliquerait les baisses de productivité. Cette tendance sera quantifiée dans la partie 6.4-2 grâce aux retours d'enquêtes. Cette analyse est basée sur les entretiens réalisés ainsi que sur les comptes-rendus des commissions ayant enquêté sur les baisses de production dans les secteurs de La Plaine, Esnandes et Marsilly (procédures calamités agricoles - septembre et décembre 2011).

4.4.1 Un déficit de croissance généralisé associé à un manque d'eau douce

Il s'agit du premier facteur explicatif des baisses de performances. Une diminution de la croissance et des taux de remplissage concerne tous les bassins prospectés de la Normandie aux Pertuis. Seule la Baie de Somme semble être épargnée.

Les mytiliculteurs constatent une forte augmentation de la quantité de déchets après calibrage. Ces rejets sont essentiellement constitués de moules de sous-calibre. En fonction des pratiques, la part normale de déchets serait comprise entre 20 et 30% du poids total. Plusieurs producteurs évoquent des pertes supérieures à 50% après calibration les mauvaises années. La baisse de productivité serait pour l'essentiel liée à un déficit de croissance des moules entraînant à la fois une diminution de la biomasse totale sur un pieu mais surtout une augmentation du nombre d'individus rejetés après calibration. Cette baisse de croissance s'accompagne d'une diminution des taux de remplissage de moules anormalement maigres. Dans la plupart des cas, le produit ne répondait pas aux critères de qualité imposés par plusieurs cahiers des charges.

Les producteurs expliquent ce déficit de croissance par une sous-alimentation des moules en lien avec des conditions de sécheresse marquées. Le manque d'eau douce est systématiquement associé aux baisses de performances de ces dernières années.

4.4.2 Des pertes de moules associées essentiellement à une mauvaise tenue du byssus

4.4.2-a Des décrochages caractéristiques des années 2010 à 2012

Des décrochages peuvent avoir d'importantes répercussions sur les productions. Plusieurs causes sont identifiées :

- un égrappage par les prédateurs (daurades, oiseaux et perceurs),
- des dégrappages liés à des actions biologiques indirectes (algues),
- des décrochages liés au mauvais temps.

A la fin de l'automne, les premières tempêtes peuvent occasionner de fortes pertes si elles n'ont pas été précédées par des coups de vents de moindre ampleur: il existe en effet une adaptation de la force d'attachement du byssus aux conditions d'agitation. Pendant les phases de croissance, les pieux sont également plus sensibles aux pertes de moules avant d'avoir été désépaisés ou catinés.

Les décrochages de ces dernières années ne semblent liés à aucune des causes « classiques » présentées. Ils toucheraient à la fois les moules adultes et le naissain de l'année.

4.4.2-b Décrochages et mortalités de moules adultes

Les pertes par décrochage, même de moules adultes, sont constatées le plus souvent de manière indirecte :

- déficit anormal en moules de taille commerciale : elles ne représentaient que 10% de la cohorte 2010 sur une majorité de pieux de la zone Esnandes Sud (Robert S., compte-rendu d'enquête calamités, septembre 2011) ;
- mauvaise tenue des moules sur les pieux contraignant à poser un nombre inhabituel de filets ;
- allure du pieu caractérisant une perte différentielle de moules (forme en « kebab » signalée en Normandie et sur les sites de Marsilly et Yves).

Dans une majorité de sites impactés en 2010 et 2011, l'explication dominante est une mauvaise tenue du byssus, dès le printemps. Ce problème est également signalé en Baie de l'Arguenon au printemps 2012. Dans certains sites, des décrochages plus massifs et localisés sont également constatés en août 2011.

Un accroissement des **mortalités de moules adultes** contribue également à ces pertes. Des observations de « papillons », de moules vides ou ouvertes sans lien apparent avec la prédation ont été signalées à la fin du printemps et pendant l'été 2011.

4.4.2-c Des pertes inexplicables de naissain

En ce qui concerne le naissain, le diagnostic d'un mauvais garnissage est effectué soit d'après l'aspect des cordes soit au moment du désépaississement des pieux : une faible quantité de pelisses peut indiquer un nombre limitant de moules. Une majorité de producteurs signalent un manque de naissain et une diminution de la production de pelisses. **Pour l'année 2011, le constat d'un mauvais garnissage est généralisé.**

Bien que situés dans un bassin captant, cette situation a conduit certains mytiliculteurs de Baie de Vilaine à s'approvisionner sur d'autres secteurs depuis quelques années. Pour un producteur de la Baie de Saint Brieuc, en moyenne 22% des pieux sont ensemencés en boudins avec des écarts importants d'une année sur l'autre (figure 4.12). Cette variabilité interannuelle peut être à la fois associée à des choix zootechniques mais aussi aux densités de moules présentes sur les cordes. Une baisse marquée apparaît depuis 2008 chez ce producteur ; en 2011 en particulier, le nombre de pelisses récoltées apparaît anormalement faible, avec 8% seulement de pieux boudinés.

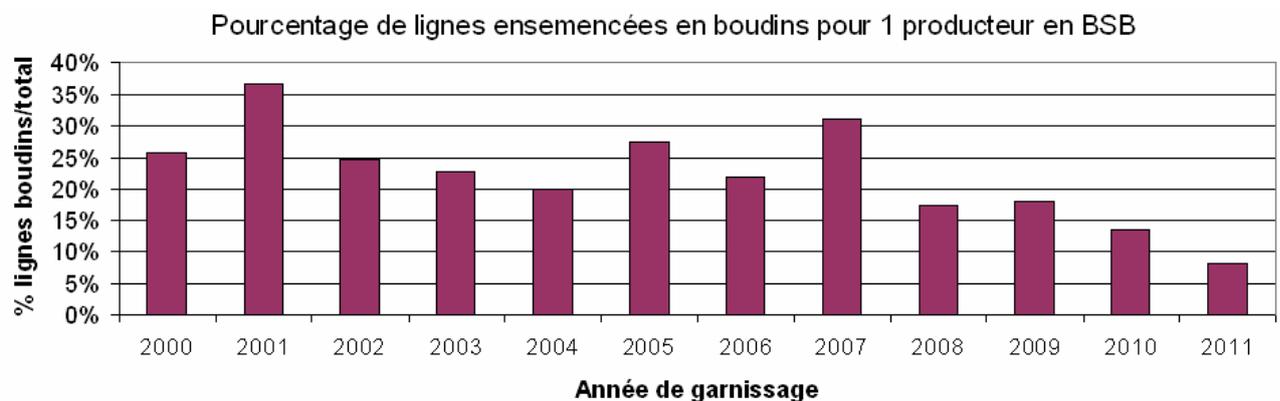


Figure 4.12 : Évolution du pourcentage de lignes ensemencées en boudin entre 2000 et 2011 pour un producteur de la Baie de Saint Brieuc (EARL Desbois).

Aux Saumonards, un des principaux centres naisseurs français, les suivis effectués par le CREEA montraient un captage pléthorique en 2007 (Bouquet A. L., Geay A) : ceci pourrait expliquer la bonne collecte de pelisses observée cette année-là en Baie de Saint Brieuc (figure 4.12). Pourtant, malgré un captage du même ordre en 2011, le ratio de lignes boudinées à Saint-Brieuc a été le plus faible depuis 12 ans (8%) : **seule une recrudescence des pertes (mortalités et/ou décrochages) expliquerait donc ce déficit en 2011.**

4.4.3 Des pertes de moules par prédation : une recrudescence d'étoiles de mer sur plusieurs sites

En 2010 et 2011, la prédation par les étoiles de mer est en recrudescence sur plusieurs sites d'élevage du Golfe de Gascogne, contribuant ainsi fortement à la baisse de performance de ces bassins. Les principaux sites touchés sont l'estuaire de Vilaine (Le Halguen, Kervoyal), le secteur de la Plaine et dans le Pertuis Breton les bouchots les plus océaniques (notamment Les Roulières). En décembre 2011 dans l'Estuaire de Vilaine et sur le secteur de la Plaine, les mortalités liées à cette prédation sont évaluées entre 35% et 50% (Compte-rendu d'enquête calamités – décembre 2011).

4.4.4 Récapitulatif des problèmes conjoncturels entre 2009 et 2011

Ces problèmes atypiques (pousse, décrochage, prédation) ont été relevés sur une majorité de sites d'élevage de la Normandie aux Pertuis, entre 2009 et 2011, de manière concomitante ou décalée. Il s'avère que la Baie de Somme a été épargnée, les problématiques identifiées étant spécifiques à ce bassin (froid, graissain).

Sur la carte présentée ci-dessous sont listés les signalements de problèmes de croissance, de byssus ou d'étoiles relevés lors des rencontres avec les professionnels.



Figure 4.13 : Inventaire des problématiques conjoncturelles caractérisant les années 2009 à 2011

L'inventaire portant sur les problèmes mytilicoles a permis d'identifier l'existence de difficultés nouvelles communes à plusieurs bassins. Ce sont donc les particularités des années récentes au sein d'une série pluriannuelle, qui vont devoir être recherchées prioritairement. Une bonne connaissance des spécificités régionales constitue néanmoins un pré requis.

4.5 Besoins scientifiques et techniques identifiés par la profession

Lors de cette enquête, les professionnels ont été interrogés quant aux formes que devrait prendre un suivi scientifique et technique de la mytiliculture.

L'intérêt pour un accompagnement portant sur la **zootechnie** est marqué. Cette demande émane de professionnels produisant sur bouchots ou filières. Pour les filières, il s'agit de producteurs installés récemment ou dont la demande de concession est en cours. L'absence de soutien technique est considéré comme handicapant en Bretagne Nord. Pour les bouchots, les demandes concernent surtout les stratégies d'ensemencement :

- effet des dates de pose des cordes en Normandie,
- optimisation de la densité initiale sur les pieux en Bretagne Nord (longueur de cordes),
- optimisation de la densité initiale dans les bassins du Golfe de Gascogne (cordes et boudins).

Comme nous le verrons dans la partie 5-4, la diversité des parcours zootechniques impose une approche régionale des stratégies d'ensemencement.

Les questions portant sur la **surveillance et la gestion des bassins d'élevage** appellent également des réponses spécifiques à chaque site. Cependant, certaines méthodologies développées à l'échelle d'un bassin pourraient être appliquées ailleurs :

- méthodes d'estimation des biomasses (Dardignac Corbeil, Mazurié, 1989 ; Nogues, 2008, Le Moine, 2002...)
- évaluation inter-site des performances d'élevage (Dardignac Corbeil, 1996 ; Mazurié, 2001 ; Robert, 2001 ; Blin, 2004 ; Thomas, 2004...)
- capacité et compétition trophiques (Gangnery, 2004 ; Cugier, 2010).

Un regain de productivité en 2012 a atténué les inquiétudes des producteurs sur la plupart des sites (Golfe de Gascogne et Normandie). L'étude des **effets environnementaux** bien que citée régulièrement n'est pas forcément identifiée comme prioritaire. Une majorité de mytiliculteurs souhaite comprendre les différences interannuelles de performances tout en soulignant que cette connaissance ne leur permettra pas nécessairement de produire mieux. Cependant, seule une minorité pense qu'un suivi pérennisé des performances mytilicoles n'aurait pas d'intérêt. Les impacts du changement climatique ont été évoqués plusieurs fois, la principale inquiétude concernant l'augmentation de l'acidité des océans et ses effets sur la production de coquille des bivalves.

Cette synthèse permet déjà d'identifier certaines des questions auxquelles devrait répondre un dispositif pérenne de surveillance :

- Effets environnementaux (incluant le changement climatique) sur les performances mytilicoles : Réseau(x) mytilicole(s) et environnementaux (REPHY, DCE, DCSMM) ;
- Saisonnalité des croissances en chair et coquilles: Réseau(x) mytilicole(s) et études complémentaires (augmentation de la fréquence d'échantillonnage).

Par ailleurs, ces réseaux pourraient en partie apporter des éléments sur d'autres demandes (suivi des milieux et surveillance des zones de captage).

Les outils devant être développés en réponses aux attentes professionnelles doivent permettre:

- une meilleure compréhension des composantes du rendement : nombre de moules (survie), poids moyen, tailles individuelles ;
- une évaluation de la capacité trophique sur la base d'indicateurs (chlorophylle, biomasses...).

Thématique	Demande	Normandie	Mont St-Michel	Baies de Bretagne Nord	Baie de Vilaine	La Plaine	Pertuis
Zootechnie	Assistance technique au développement des filières		X (<i>St Coulomb</i>)	X (<i>Lanion, Rade de Brest</i>)			X (<i>Ile d'Yeu</i>)
	Pieux imputrescibles et carrés utilisant des essences locales			X			
	Dinophysis: Possibilités de purification					X	
	Optimisation du captage	X					
	Stratégies d'ensemencement	X	X	X	X		X
Environnement et performances mytilicoles	Dinophysis: Fréquence des analyses				X	X	
	Effets environnementaux sur les performances mytilicoles		X	X	X		X
	Répercussions changement climatique (Acidité)			X	X		X
	Surveillance et "sanctuarisation" des zones de captage	X					
	Saisonnalité des croissances en chair et coquille						X
Gestion des bassins d'élevage	Optimisation de la production (notions de capacité et de compétition trophique)	X	X				X
Qualité des milieux d'élevage	Assainissement			X			X
	Gestion et suivi de la qualité des apports				X		X

Demandes auxquelles un réseau national de suivi des performances mytilicoles pourrait répondre

Figure 4.14 : Principales demandes de soutien scientifique et technique évoquées lors des rencontres de professionnels (liste non exhaustive)

5. Environnement et pratiques culturelles des bassins mytilicoles

Cette partie identifiera les spécificités des principaux sites d'élevage mytilicole des façades Manche/Atlantique en matière d'environnement et de pratiques culturelles.

5.1 Caractérisation environnementale

5.1.1 Analyse multifactorielle des données issues du réseau REPHY

Les données collectées dans le cadre du réseau REPHY ont été utilisées pour décrire les milieux d'élevage.

Les sites REPHY et les périodes d'échantillonnage ont été sélectionnés selon deux critères :

- un critère spatial : le site sélectionné est le plus proche possible de la zone de production ;
- un critère temporel (une année est sélectionnée si les échantillonnages couvrent une période minimale de 11 mois).

27 points de prélèvements ont été retenus sur une période d'échantillonnage variable en fonction des sites (Figure 5.1).

Les paramètres étudiés sont la Salinité (PSU : Practical Salinity Unit), la Température (°C), la concentration en Chlorophylle A ($\mu\text{g/l}$) et la Turbidité (NTU). Pour faciliter les traitements, les données de chlorophylle et turbidité sont transformées en utilisant une fonction logarithme népérien ($\text{LN}(X+1)$). Un total de 20 000 données est analysé.

Bassins d'élevage	Abréviation	Point de suivi REPHY	93	95	96	97	98	99	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Pas de Calais	PDC	Point 1 SRN Boulogne																	
Baie de Somme	SO	At so																	
Utah beach	UT	Utah																	
Ouest Cotentin	OC	Coudeville1 mille																	
	OC	Denneville																	
	OC	Dorville																	
	OC	Pirou Bergerie Sud																	
	OC	Pointe Agon sud																	
Chausey	CHAU	Chausey																	
Baie du Mont St-Michel	MSM	Cancale nord (b)																	
	MSM	Champeaux																	
	MSM	Mont St Michel																	
Baie de l'Arguenon	ARG/FRE	les Hébihens																	
	ARG/FRE	St Cast																	
Baie de St-Brieuc	BSB	Dahouët																	
	BSB	Saint-Quay																	
Baie de Lanion	LAN	Locquemeau																	
Baie de Vilaine	EVIL	Ouest Loscolo																	
La Plaine	PL	Pointe St Gildas large																	
Noirmoutier	NO	Bois de la Chaise (a)																	
	NO	Bois de la Chaise large																	
Pertuis Breton	MAR	La Carrelère																	
	AIG	L'Eperon (terre)																	
	FILPB	Filière w																	
Pertuis d'Antioche	AIX	Ile d'Aix																	
	BO	Boyard																	
	YV	Le Cornard																	

Figure 5.1 : Liste des points REPHY et des années de suivi utilisés pour établir une caractérisation environnementale des bassins d'élevage.

L'Analyse en Composantes Principales est une méthode statistique permettant d'identifier les critères quantitatifs (combinaison linéaire des descripteurs environnementaux) les plus discriminants des stations ou des années. Cette méthode permet donc de différencier les sites d'élevages, les années ou les saisons et de mettre en évidence les facteurs de différenciation.

Les deux axes principaux de l'ACP expriment 72 % de la variabilité du jeu de données :

- L'axe 1 représente essentiellement l'**influence estuarienne** caractérisée par une faible salinité et une forte turbidité ;
- L'axe 2 peut être qualifié d'**axe trophique** : il est très bien corrélé avec la concentration en chlorophylle ($R^2 = 0,9$) et dans une moindre mesure avec la température ($R^2 = 0,5$; caractère printanier des blooms) et la turbidité ($R^2 = 0,4$; caractère estuarien des sites).

La **saisonnalité** s'exprime en fonction de ces deux axes, la variable température discriminant le mieux les saisons.

Les points projetés peuvent être décrits en fonction de deux critères définissant au mieux les caractéristiques d'un site d'élevage : **l'importance des influences estuariennes et la nourriture disponible**.

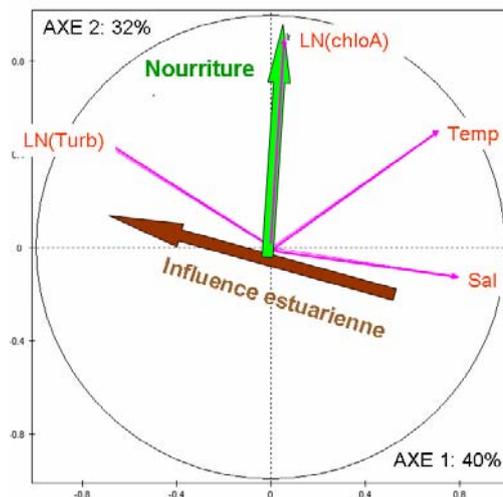


Figure 5.2 : Cercle des corrélations de l'ACP des données issues du réseau REPHY : projection des 4 variables utilisées et représentation des influences estuariennes et de l'abondance en nourriture.

5.1.2 Classement des bassins d'élevages

Le nuage de points projeté sur les deux axes principaux est habillé en utilisant la variable qualitative « site d'élevage ». **Les caractéristiques environnementales d'un site sont ainsi définies selon l'importance de l'influence estuarienne et la disponibilité en nourriture (Figure 5.3).**

Il apparaît deux groupes extrêmes de bassins d'élevage :

- un premier nuage regroupe des sites caractérisés à la fois par des dessalures fortes, une turbidité marquée et une nourriture abondante. Sur ces zones, l'abondance des apports terrigènes permet d'entretenir de fortes concentrations phytoplanctoniques. Ces bassins seront qualifiés d'**estuariens** ;

- à l'opposé apparaît un groupe de sites aux caractéristiques très océaniques : dessalures faibles, eau claire et nourriture peu abondante. Les apports en nutriments par les fleuves sont faibles et limitent la production phytoplanctonique (sites oligotrophes) : l'influence terrigène étant faible, ces bassins seront qualifiés d'**océaniques**.

Un troisième groupe de sites d'élevage avec des caractéristiques estuariennes et trophiques intermédiaires apparaît. Les influences terrigènes y sont plus nuancées mais la nourriture peut y être abondante (Loscolo). Ces bassins seront qualifiés d'**intermédiaires**.

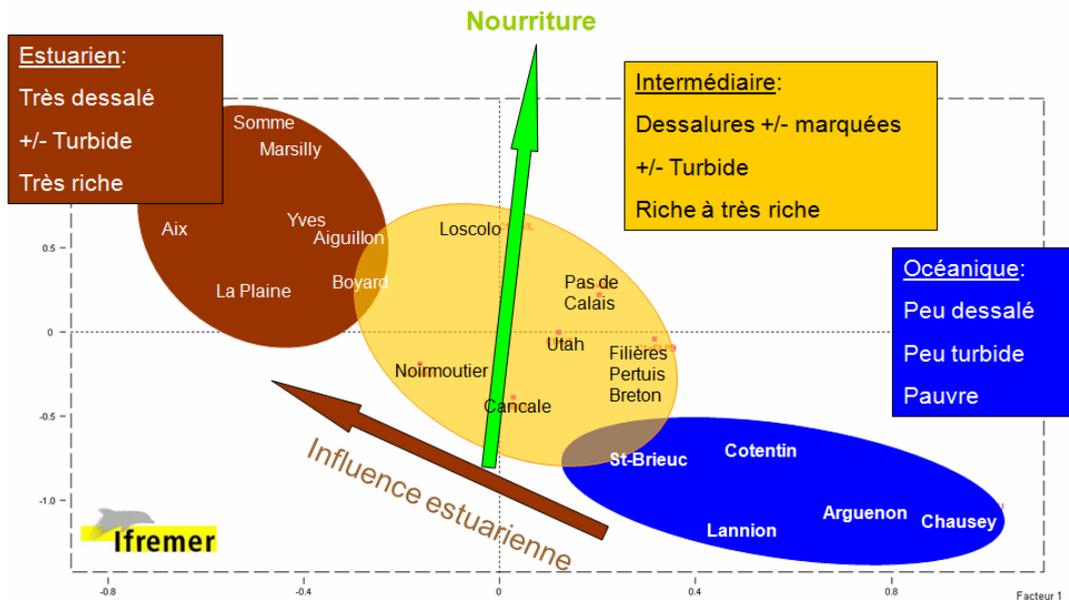


Figure 5.3 : ACP des données environnementales du réseau REPHY – Caractérisation des bassins d'élevage en trois groupes: milieux sous influence estuarienne, océanique ou intermédiaire (brassé ou influence estuarienne)

Les environnements d'élevage sont définis par l'importance des influences estuariennes (dessalures et turbidité) déterminant pour partie la disponibilité trophique d'un bassin.

Le Golfe de Gascogne bénéficie des apports de deux grands fleuves (Loire et Gironde) et de fleuves secondaires aux débits importants (Vilaine, Charente...). Les influences estuariennes sont prononcées et les milieux productifs. La majorité des sites d'élevage sont de types estuarien et parfois intermédiaire. L'influence de grands fleuves est également marquée pour les bassins d'élevage de Manche Orientale (de l'Est Cotentin au Nord Pas de Calais) avec les apports de la Seine, du bassin rhénan et de fleuves secondaires (Somme...).

L'ensemble des sites océaniques est localisé en Manche Occidentale (Ouest Cotentin et Bretagne Nord). Les courants résiduels étant dirigés vers le Nord-Est, les grands fleuves se déversant dans la Manche et en mer du Nord n'ont pas d'impact du côté occidental de la Manche. Les apports fluviaux dans cette zone sont limités et très localisés, émanant de fleuves côtiers drainant de petits bassins versants. En Manche Occidentale, seule la baie du Mont Saint Michel est de type intermédiaire : par rapport à d'autres bassins de cette catégorie, la disponibilité trophique y étant limitée et les dessalures peu marquées, son classement est surtout lié à une turbidité élevée. Les influences estuariennes semblent faibles même sur ce site. Le caractère « turbide » pourrait être associé à une forte agitation permettant une remise en suspension des sédiments (courants de marée) mais aussi à la localisation du point de prélèvement « Cancale Nord » situé sur une zone très vaseuse.

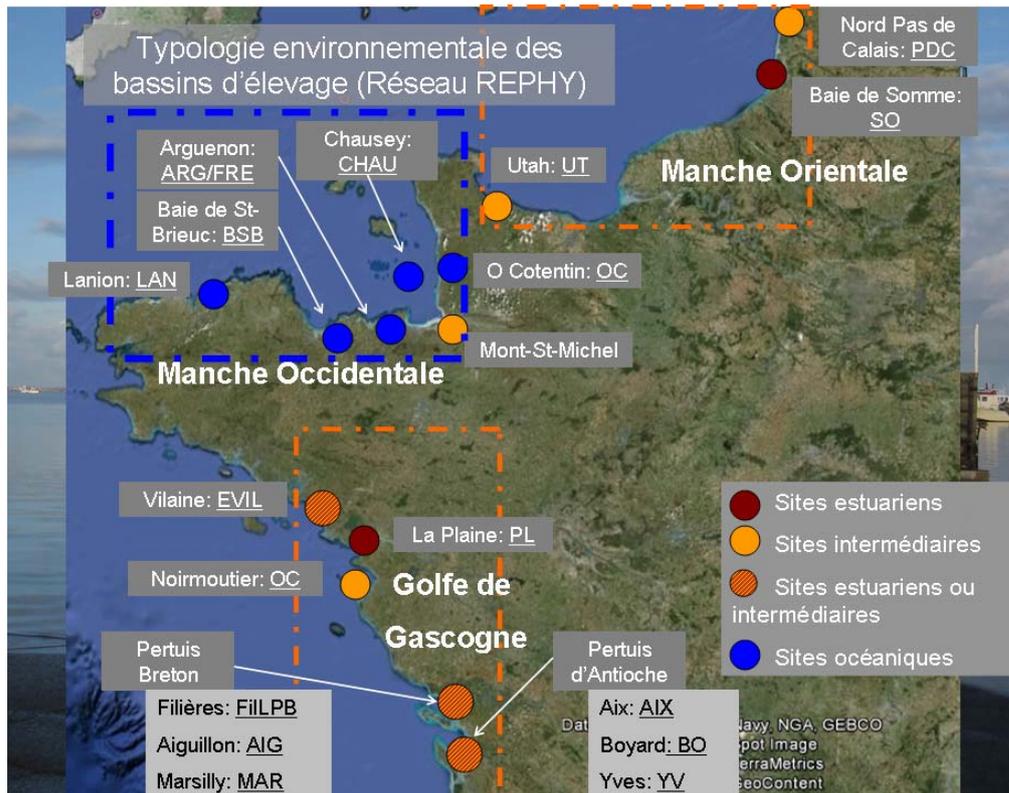


Figure 5.4 : Typologie environnementale des bassins mytilicoles. Sites océaniques en Manche occidentale et estuariens ou intermédiaires sur les façades du Golfe de Gascogne et de Manche orientale.

5.2 Dessalures et turbidité

Les caractéristiques de dessalures et de turbidité étant essentiellement déterminées par les débits fluviaux, il apparaît un fort gradient saisonnier :

- les valeurs de salinités diminuent à partir d'octobre, sont minimales entre janvier et mars et remontent à partir d'avril jusqu'à atteindre un plateau de juillet à septembre ;
- les valeurs de turbidité sont généralement élevées lorsque les dessalures sont fortes (R^2 [Salinité/Turbidité] = -0,35) traduisant l'importance des apports terrigènes en hiver et leur pauvreté en été. Les sites de la baie d'Yves et de Marsilly se distinguent par une turbidité élevée toute l'année. Elle s'avère même la plus forte entre mai et juillet à Marsilly.

L'ampleur des **dessalures** apparaît très différente selon la localisation des sites intermédiaires et estuariens. Sur une année, les écarts moyens de salinité oscillent entre 3,3 et 6,6 PSU dans le Golfe de Gascogne alors qu'ils ne dépassent pas 1,6 PSU en Manche Orientale. Les trois sites de cette zone (Utah, Boulogne et Somme) présentent pourtant des valeurs de turbidité et des concentrations en phytoplancton élevées. En Manche Orientale, la force des courants génère un brassage important. Il est donc probable que les masses d'eau soient plus homogènes et moins stratifiées que dans le Golfe de Gascogne : une dilution plus forte des apports continentaux pourrait alors expliquer de faibles écarts de salinité.

Dans les sites de Manche Occidentale, les dessalures n'excèdent pas 1 PSU sauf pour la Baie de Saint Brieuc (2,8). Cette forte amplitude est liée à la localisation en sortie d'estuaire du point de prélèvement « Dahouët » échantillonné de 1998 à 2006.

Les fluctuations saisonnières de turbidité sont également variables en fonction des sites (cas de Marsilly notamment où la turbidité estivale est élevée). Il apparaît également que sur des sites où les apports terrigènes sont limités, des valeurs élevées peuvent être mesurées. C'est notamment le cas de la baie du Mont Saint Michel et du site de Pirou en Ouest Cotentin. L'agitation et le type de substrat peuvent être en cause :

- en baie du Mont Saint Michel, les forts courants en périodes de vives eaux entraînent une remise en suspension du sédiment. Il peut apparaître quotidiennement des fronts de turbidité à la fois riches en matières inorganiques mais aussi en phytoplancton (Thomas, 2004) ;
- le substrat sur Pirou est sableux. Il s'agit d'un site mytilicole battu et exposé sur lequel les pieux doivent être plantés beaucoup plus profondément que sur d'autres secteurs (mytiliculteur, communication personnelle).

SAL												
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MAR	29.6	29.3	30.3	31.2	32.3	33.3	34.4	34.9	34.9	33.9	32.6	30.4
AIG	28.1	29.0	29.9	31.6	32.2	33.4	34.3	34.6	34.7	33.9	32.8	31.2
AIX	29.1	28.1	29.9	31.6	32.4	32.8	33.8	34.5	34.1	33.6	32.5	31.9
ARG/FRE	34.5	34.4	34.5	34.5	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.5	34.5
BO	31.0	30.4	31.2	32.0	32.8	33.5	34.0	34.5	33.8	34.0	33.3	31.6
BSB	32.0	32.6	33.1	33.5	34.2	34.5	34.6	34.6	34.7	34.6	33.5	32.9
CHAU	35.1	35.1	35.0	34.8	34.8	34.8	34.8	34.9	35.0	35.3	35.4	35.0
EVIL	30.1	30.3	30.1	30.8	32.0	32.8	33.7	33.8	34.2	33.7	32.8	31.6
FILPB	30.9	31.5	31.9	32.6	33.1	33.8	34.4	34.8	34.8	34.5	33.0	33.5
LAN	33.6	33.0	33.9	33.5	33.7	34.0	34.4	34.4	34.7	34.4	33.9	34.2
MSM	33.7	33.6	33.5	33.8	33.8	34.1	34.1	34.3	34.4	34.4	34.1	33.8
NO	32.0	31.4	31.6	32.3	33.0	33.4	33.7	34.3	34.7	34.2	33.5	32.4
OC	34.1	34.2	34.2	34.5	34.6	34.7	34.7	34.9	34.9	35.0	34.7	34.4
PDC	33.0	33.5	33.1	33.7	34.0	33.8	34.0	33.9	34.3	33.7	34.0	33.4
PL	29.3	29.5	29.3	30.9	31.9	31.5	32.4	33.3	33.9	33.6	33.9	29.7
SO	32.5	32.1	32.4	32.4	32.2	32.7	32.9	33.4	33.4	33.3	33.1	32.4
UT	33.4	33.6	32.2	33.1	33.3	33.4	33.7	33.8	33.6	33.6	33.1	32.9
YV	30.0	29.6	30.8	31.8	32.1	33.1	34.1	34.4	34.5	33.9	32.9	32.4

TURB												
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MAR	16.7	13.2	16.4	15.0	19.5	17.1	18.7	14.1	16.4	11.0	14.2	18.2
AIG	12.8	11.0	14.4	11.9	10.9	8.4	7.7	5.3	8.9	7.2	12.0	13.7
AIX	22.6	23.9	18.9	15.5	12.0	11.1	11.3	9.6	10.6	11.6	18.8	20.6
ARG/FRE	3.8	5.9	5.0	2.6	1.7	1.1	0.8	0.9	1.2	2.1	2.3	4.3
BO	17.5	14.3	10.1	8.5	8.8	5.1	4.6	3.9	7.1	11.4	11.6	14.3
BSB	7.9	7.8	4.6	5.0	2.6	2.8	2.2	2.7	2.8	5.7	5.3	8.6
CHAU	3.8	2.5	2.6	2.3	1.3	0.8	1.5	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5
EVIL	7.4	6.2	6.6	4.1	4.0	3.3	3.5	2.9	3.4	5.6	6.8	8.2
FILPB	5.8	7.8	6.7	5.2	5.1	2.6	3.3	2.5	4.9	5.2	5.7	9.7
LAN	5.2	6.8	2.7	2.1	1.1	1.1	0.9	0.9	1.2	2.2	2.4	4.2
MSM	25.7	29.2	30.8	16.5	15.5	8.2	16.8	15.2	14.8	15.9	27.3	29.2
NO	23.8	18.2	16.9	9.7	6.4	4.4	2.6	2.5	4.1	6.9	10.9	18.6
OC	10.7	8.0	8.1	4.4	4.0	2.9	3.3	3.5	2.5	4.0	5.6	9.9
PDC	8.2	7.1	4.8	2.4	2.5	2.1	2.5	2.1	3.2	5.0	6.0	4.1
PL	11.6	11.5	8.7	4.9	3.7	3.9	5.8	3.3	3.4	3.5	4.4	12.0
SO	13.2	18.2	12.9	8.5	5.2	4.1	5.7	5.4	8.5	10.1	14.4	12.7
UT	4.4	2.7	6.3	6.8	7.6	1.4	1.8	1.5	1.1	2.4	9.5	13.5
YV	17.9	18.9	15.2	14.8	11.1	10.4	12.2	11.6	12.5	12.2	16.3	16.7

Figure 5.5 : Saisonnalité des dessalures et de la turbidité. Les gradients de couleurs sont proportionnels aux valeurs : du brun pour des turbidités élevées au blanc pour des eaux claires – du vert pour des dessalures fortes au bleu pour de fortes salinités. Les abréviations utilisées pour désigner les sites d'élevage sont explicitées dans le tableau de données (figure 5.1).

5.3 Efflorescences phytoplanctoniques

5.3.1 Sites océaniques de Manche Occidentale

Les blooms printaniers sont fugaces et de faible amplitude sur les sites océaniques (Figure 5.8)

Sur les sites océaniques, les blooms apparaissent de manière fugace (la persistance sur 2 mois qui semble apparaître sur la figure 5.8 est liée aux décalages interannuels d'apparition des efflorescences). A la sortie de l'hiver, les eaux, ayant bénéficié d'apports en nutriments restent malgré tout assez claires (Figure 5.5). Les blooms se développent très rapidement dès que la température augmente. Cependant, les apports printaniers ne permettent pas un approvisionnement régulier en nutriments et certains (Phosphates, Silicates....) restent limitants. Dès que le stock est consommé, les algues cessent de proliférer et en général il n'apparaît pas d'autre bloom avant l'automne. Des efflorescences secondaires de moindre ampleur peuvent occasionnellement se développer d'août à octobre.

En Baie de Saint Briec et sur les sites d'Ouest Cotentin, les efflorescences apparaissent précocement en mars ou avril. Sur les autres sites océaniques, les blooms sont plus tardifs et apparaissent en général un mois plus tard. Ce délai d'apparition pourrait s'expliquer par un échauffement moins rapide des eaux (données REPHY). L'amplitude thermique annuelle en Cotentin et en Baie de Saint Briec est par ailleurs plus marquée (12,5 °C en Cotentin contre 9°C en Baie de Lannion) possiblement du fait des caractéristiques des estrans (pente), des marées, voire du substrat.

5.3.2 Sites de Manche Orientale

Les blooms printaniers sont massifs, précoces et persistent durant le printemps en Manche Orientale (Figure 5.8)

Sur ces sites, des concentrations très élevées en chlorophylle sont mesurées dès le mois de mars et jusqu'en juin. En outre, durant l'été et l'automne, les populations de phytoplancton ne s'effondrent pas de manière aussi marquée que dans les sites océaniques. Les teneurs en chlorophylle se maintiennent en effet à un niveau nettement supérieur aux maxima enregistrés sur la plupart des sites de Manche Occidentale jusqu'en octobre (les valeurs « faibles » mesurées à Utah en août sont comparables aux blooms en Baie de Saint Briec ou de l'Arguenon).

Cette richesse trophique est liée à la fois à l'importance des débits de fleuve locaux (Seine, Somme) mais aussi à des apports en provenance de Mer du Nord.

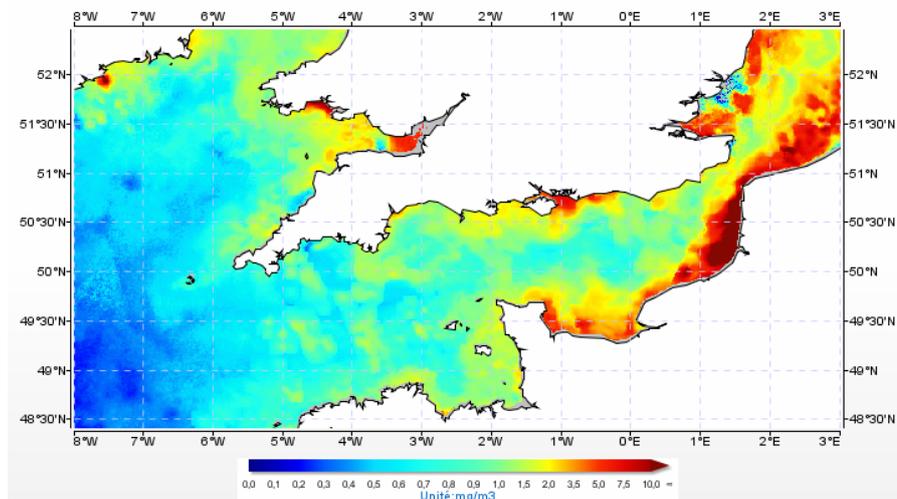


Figure 5.6 : Observation satellite analysée de Chlorophylle a le 16/03/2010 en Manche (source: PREVIMER <http://www.previmer.org/>)

5.3.3 Sites du Golfe de Gascogne et Baie du Mont Saint Michel (Figure 5.8)

Les blooms printaniers sont souvent plus tardifs et persistent parfois durant l'été pour les bassins du Golfe de Gascogne et en Baie du Mont Saint Michel (Figure 5.8)

Dans cette zone, malgré un échauffement plus rapide des eaux, les blooms les plus importants n'apparaissent généralement qu'à partir d'avril (Vilaine) voire mai (Boyard). Ce retard d'apparition pourrait être lié à une très forte turbidité à la côte qui bloque le passage de la lumière dans la colonne d'eau. Ce décalage est particulièrement marqué sur les sites de Yves et de Boyard tributaires des apports de Charente (Soletchnik, 2013).

Dans le Pertuis Breton, les valeurs moyennes de chlorophylle peuvent être élevées dès le mois de mars. Cependant, ces blooms apparaissent de manière sporadique et certaines années seulement. Début mars 2012, une efflorescence majeure est mesurée sur l'ensemble des sites du Pertuis Breton. Un échauffement important et des conditions d'ensoleillement dès la fin du mois de février permettent le développement de blooms au large. Conformément à l'hypothèse d'un blocage turbide, les concentrations en chlorophylle restent très pauvres à la côte notamment en sortie de la Loire, de la Gironde et dans les Pertuis (Figure 5.7, 1^{er} mars 2012). L'orientation des vents dominants change à partir du 1^{er} mars avec l'apparition de vents d'Ouest modérés (moins de 20 nœuds). Le phytoplancton se concentre à la côte (Figure 5.7, 7 mars 2012) puis est à nouveau dispersé au large dès qu'apparaît un changement du régime des vents le 8 mars. Dans le Pertuis Breton, la configuration géographique et un renouvellement des masses d'eau plus faible que dans le Bassin de Marennes bloquent les blooms une semaine supplémentaire. Cette capacité de piégeage des efflorescences exogènes explique les concentrations record de chlorophylle mesurées le 10 mars dans ce Pertuis (29 µg/l à la Carrelère).

Les cartes satellites illustrent généralement bien l'existence d'un blocage turbide dans le Golfe de Gascogne : les premiers blooms de l'année se développent au large dans le panache des estuaires puis à la côte avec l'influence d'apports localisés.

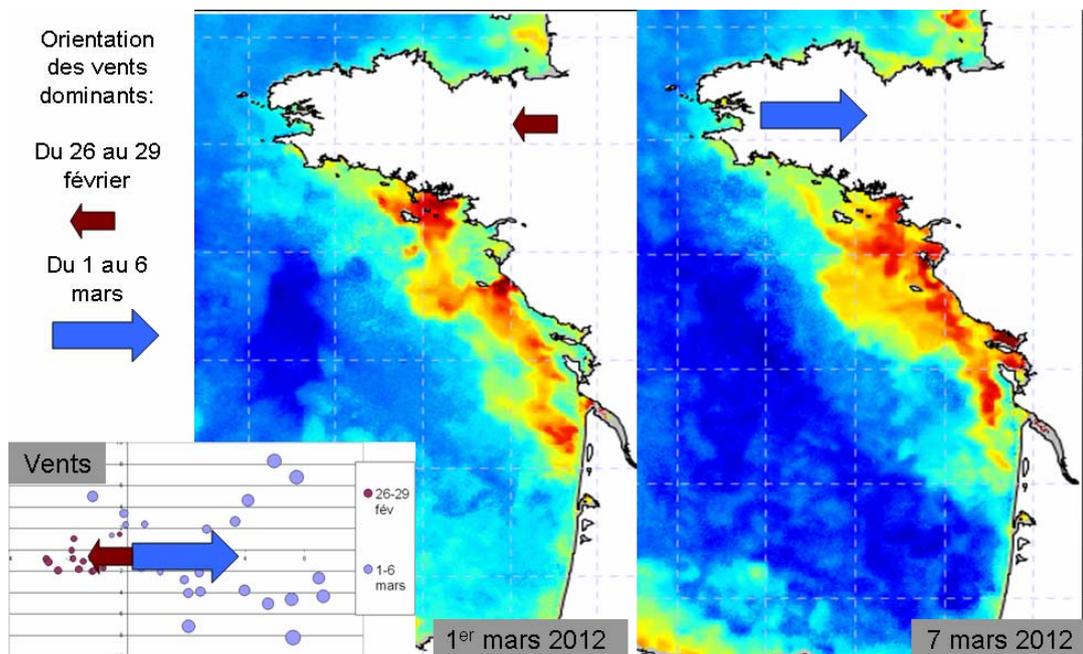


Figure 5.7 : Observations satellites analysées de Chlorophylle a les 1 et 7 mars 2012

dans le Golfe de Gascogne (source: PREVIMER <http://www.previmer.org/>) –

Orientation et force des vents dominants les jours qui précèdent (source: données météo, modèle ARPEGE)

Contrairement aux sites océaniques, les valeurs de chlorophylle restent élevées pendant plusieurs mois et souvent jusqu'en été. L'importance des blooms estivaux est surtout marquée à Marsilly, Aix, en Baie d'Yves et sur le site de Boyard. Sur les autres sites apparaissent des efflorescences secondaires durant l'automne.

La persistance apparente des blooms correspond en réalité à l'enchaînement d'une succession d'efflorescences de différentes espèces. Les diatomées sont les premières à se développer dès la fin de l'hiver, la construction de leur squelette nécessite l'utilisation de silicates qui deviennent vite limitants. Les microalgues à squelette non siliceux prennent alors la relève, il s'agit essentiellement d'espèces appartenant au genre des Dinophyceae (dont *Dinophysis*).

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MAR	1.2	1.4	7.2	6.5	8.2	6.4	7.0	7.6	4.3	4.4	2.2	1.7
AIG	0.9	1.3	4.7	4.8	6.6	6.8	4.3	4.1	3.3	3.6	2.1	1.2
AIX	1.0	1.6	4.0	3.1	5.0	4.0	4.6	4.9	2.9	2.5	1.6	1.3
ARG/FRE	0.6	0.9	1.3	2.1	2.8	1.7	1.0	1.5	1.5	1.2	0.7	0.6
BO	1.1	1.2	3.0	4.2	5.5	6.0	6.0	5.7	4.4	2.2	1.5	1.0
BSB	1.1	1.2	2.6	2.7	1.8	1.6	1.6	1.8	1.4	1.5	1.0	1.0
CHAU	0.7	0.7	1.1	2.0	2.2	1.3	1.0	1.2	1.5	1.2	0.6	0.6
EVIL	0.9	1.2	4.1	12.5	7.5	8.5	6.9	5.9	6.6	6.1	2.4	1.2
FILPB	1.0	1.3	3.9	3.5	4.3	3.7	3.1	3.2	2.3	2.4	1.7	1.2
LAN	0.4	0.6	0.6	1.5	2.3	1.4	1.3	1.0	0.9	0.6	0.5	0.5
MSM	1.1	1.6	2.5	3.3	4.1	3.1	3.5	4.1	2.8	1.9	1.5	1.2
NO	1.3	1.2	2.6	4.3	4.7	2.8	1.4	1.2	1.3	1.4	1.1	1.2
OC	0.9	1.2	3.1	2.2	1.3	1.2	1.5	1.2	1.5	1.4	1.0	0.8
PDC	2.8	4.3	7.5	10.6	8.1	6.9	4.6	3.3	3.7	2.8	1.6	2.1
PL	0.7	0.8	3.2	5.2	6.7	5.2	6.6	3.8	6.1	3.7	0.8	0.7
S0	2.9	5.5	12.0	18.6	14.1	13.7	7.9	5.5	5.0	4.9	3.7	2.8
UT	0.8	1.8	5.7	4.3	7.7	5.4	3.5	2.7	3.8	3.3	1.5	1.1
YV	0.9	1.5	3.1	3.3	5.0	6.0	5.7	6.1	3.4	2.5	1.6	1.1
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MAR	-1.4	-1.3	0.9	0.6	1.3	0.6	0.8	1.0	-0.2	-0.2	-1.0	-1.2
AIG	-1.4	-1.2	0.6	0.6	1.5	1.6	0.3	0.2	-0.2	0.0	-0.8	-1.2
AIX	-1.4	-1.0	0.7	0.1	1.3	0.6	1.0	1.3	-0.1	-0.4	-1.0	-1.2
ARG/FRE	-1.0	-0.7	0.0	1.1	2.3	0.6	-0.4	0.3	0.3	-0.3	-1.0	-1.1
BO	-1.2	-1.1	-0.2	0.4	1.0	1.2	1.2	1.1	0.4	-0.6	-1.0	-1.2
BSB	-0.9	-0.6	1.8	1.9	0.4	-0.1	0.1	0.4	-0.4	-0.3	-1.1	-1.1
CHAU	-0.9	-0.9	-0.1	1.5	1.9	0.1	-0.3	0.1	0.7	0.1	-1.1	-1.2
EVIL	-1.3	-1.2	-0.3	2.1	0.6	0.9	0.4	0.2	0.4	0.2	-0.8	-1.2
FILPB	-1.4	-1.2	1.1	0.8	1.4	0.9	0.4	0.5	-0.3	-0.2	-0.8	-1.2
LAN	-1.0	-0.6	-0.6	0.9	2.4	0.8	0.6	0.0	-0.2	-0.6	-0.8	-0.9
MSM	-1.3	-0.9	0.0	0.7	1.4	0.5	0.9	1.4	0.3	-0.6	-1.0	-1.3
NO	-0.6	-0.6	0.4	1.8	2.1	0.6	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-0.7	-0.7
OC	-0.9	-0.4	2.6	1.2	-0.2	-0.4	0.1	-0.3	0.1	0.0	-0.7	-1.1
PDC	-0.7	-0.2	0.9	2.1	1.2	0.7	-0.1	-0.6	-0.4	-0.7	-1.2	-1.0
PL	-1.2	-1.2	-0.2	0.7	1.3	0.6	1.2	0.1	1.0	0.0	-1.2	-1.2
S0	-1.0	-0.5	0.8	2.0	1.2	1.1	0.0	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-1.0
UT	-1.3	-0.8	1.1	0.4	2.0	0.9	0.0	-0.4	0.2	-0.1	-1.0	-1.1
YV	-1.2	-1.0	-0.2	0.0	0.8	1.4	1.2	1.4	0.0	-0.4	-0.9	-1.2

Figure 5.8 : Saisonnalité des efflorescences phytoplanctonique : valeurs moyennes mensuelles (en haut) et moyennes centrées réduites par site d'élevage (en bas). Les gradients de couleurs sont proportionnels aux valeurs : du rouge pour des concentrations en chlorophylle a faibles au vert foncé pour des valeurs élevées. Les abréviations utilisées pour désigner les sites d'élevage sont explicitées dans le tableau de données (figure 5.1).

5.4 Variabilité et spécificités des pratiques culturelles

Les modes de culture sont adaptés aux caractéristiques environnementales des sites. Le premier critère distinguant les principaux bassins est lié à la présence ou non d'un **captage naturel** de *Mytilus edulis* (figure 4.2). Les sites de Bretagne Nord et de Normandie sont entièrement tributaires d'un approvisionnement extérieur en naissain. Les pieux sont majoritairement garnis avec des cordes provenant des principaux centres de captage (Noirmoutier, Saumonards, Pertuis Breton, La Plaine ou encore Vilaine certaines années). Elles peuvent être posées du mois de mai et parfois jusqu'en décembre.

Pour les sites du Golfe de Gascogne, le **garnissage des pieux** à partir de cordes sur lesquelles le naissain a été capté au printemps est généralement beaucoup plus limité dans le temps. Celles-ci sont dans l'idéal transférées sur les pieux avant la fin de l'été pour éviter des pertes importantes par surcharge des cordes (« densité dépendance »). Pour les pieux laissés vides, un garnissage complémentaire continu est réalisé par boudins (moules issues du désépaulement des pieux initialement garnis de cordes).

Pour distinguer ces deux modes de garnissage des pieux, on parlera de « garnissage continu » ou « garnissage sur cordes » pour les mytiliculteurs ne boudinant pas. Dans le cas de producteurs boudinant un tiers ou moins du nombre total de leurs pieux, la désignation de « garnissage semi-continu » sera employée.

Certains producteurs en baie de Somme, sur le site d'Utah et quelques mytiliculteurs du Golfe de Gascogne préfèrent ne pas utiliser la **pêcheuse**. Le prélèvement au râteau permet une pêche partielle du pieu. Ce mode de culture traditionnel a été nommé « Pêche continue ».

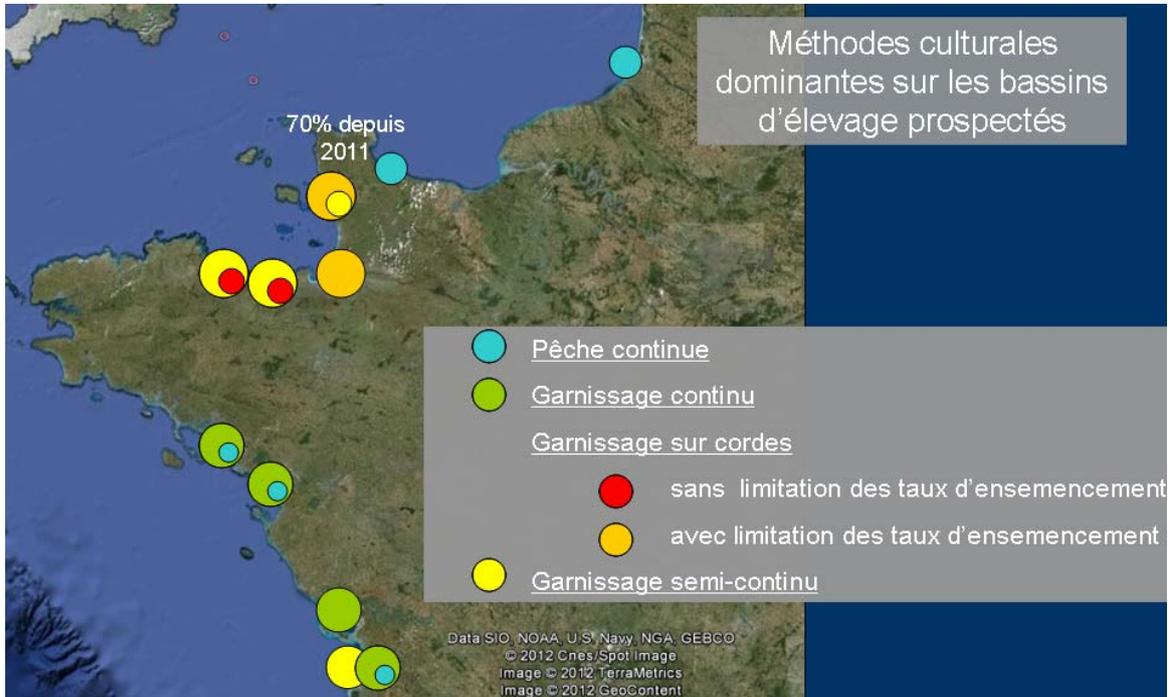


Figure 5.9 : Méthodes culturelles privilégiées dans les bassins d'élevage étudiés

Des schémas simplifiés sont utilisés ci-après pour décrire les grands types de pratiques et les spécificités des modes de cultures. La durée du grossissement sur pieu des moules de l'année et le taux d'occupation moyen ne sont donnés qu'à titre indicatif. L'abscisse de ces tableaux désigne le mois de l'année. Les lignes permettent de styliser l'occupation des pieux en distinguant l'enchaînement des 3 cohortes au cours d'un cycle de production.

5.4.1 Pêche continue

Elle est pratiquée par des producteurs peu mécanisés pratiquant une pêche au râteau en continu sur les pieux : Utah, Baie de Somme ou certains mytiliculteurs dans le Golfe de Gascogne qui utilisent partiellement cette méthode. Cette technique a disparu des autres bassins avec l'acquisition des pêcheuses.

Les pieux vides peuvent également capter directement et servir par la suite de source d'approvisionnement en pelisses pour le boudinage. Cette méthode est utilisée couramment dans le Golfe de Gascogne pour les pieux ayant été remplacés durant l'hiver ou en routine pour quelques producteurs (Yves, Vilaine). Dans ce cas là, même sans pêche continue systématique, le schéma d'occupation des bouchots pourra se rapprocher de celui-ci.

Durée moyenne du grossissement sur pieux des moules de l'année « N »: 7,4 mois

Taux moyen d'occupation : 69 %

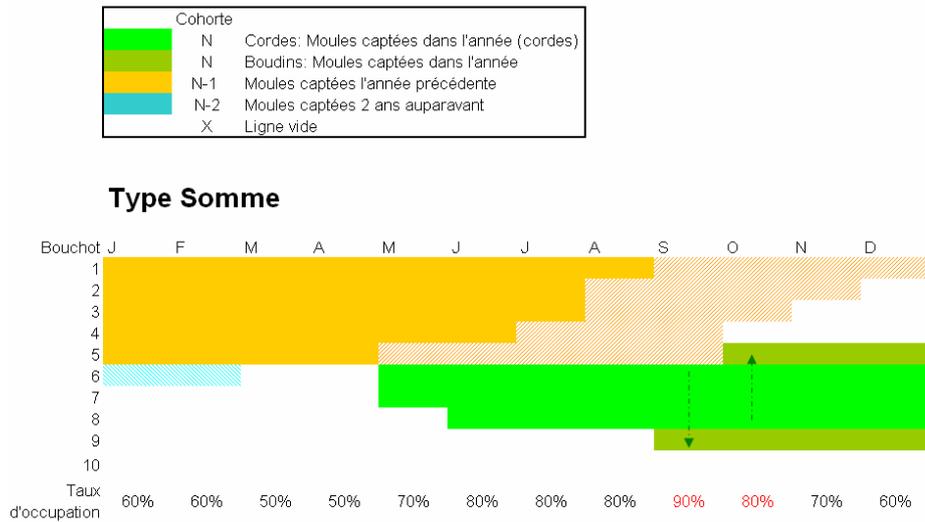


Figure 5.10 : Pêche continue : Calendrier d'occupation théorique des bouchots d'élevage

5.4.2 Garnissage continu

Ce mode de culture est pratiqué dans les sites du Golfe de Gascogne mécanisés : Vilaine, La Plaine, Pertuis Breton et d'Antioche. Les cordes sont posées rapidement (avant la mi-août en Baie de Vilaine) pour éviter des déperditions importantes de naissain. Les pieux sont garnis au fur et à mesure qu'ils sont pêchés, d'abord avec des cordes, puis avec des boudins fabriqués à l'aides de pelisses ce qui permet de diminuer la densité de moules par pieu. Le boudinage est pratiqué de manière quasi-continue à l'automne et au printemps suivant. Autre avantage : l'occupation des bouchots est optimisée. Les taux d'ensemencement dépendront surtout du nombre de lignes qui seront boudinées variable en fonction des années ou des pratiques individuelles. Cette méthode culturale utilise une phase intermédiaire de prégrossissement ayant lieu le plus souvent sur pieux ou en partie sur filières dans les Pertuis. Ce mode d'ensemencement mobilise plus de temps que le garnissage uniquement sur cordes.

Durée moyenne du grossissement sur pieux des moules de l'année « N »: 6,5 mois
Taux moyen d'occupation : 89 %

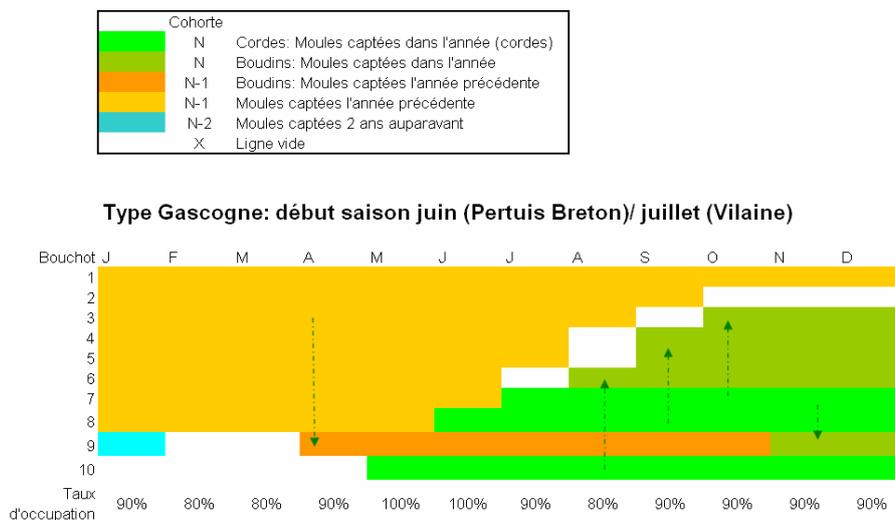


Figure 5.11 : Garnissage continu : Calendrier d'occupation théorique des bouchots d'élevage

5.4.3 Garnissage à partir de cordes

Cette technique s'applique aux sites sur lesquels le captage est inexistant (Bretagne Nord et Ouest Cotentin pour les producteurs mécanisés ayant abandonné les techniques de boudinage). Les pieux sont ensemencés avec des cordes stockées sur des chantiers. La durée de stockage sur chantiers à cordes peut être longue puisqu'il est nécessaire que des pieux se libèrent pour un nouveau garnissage. Cette technique présente l'avantage d'optimiser l'utilisation des pieux, puisqu'ils sont tous réensemencés (alors que dans cas du garnissage par boudins, la quantité de pelisses disponibles peut être limitante). En contrepartie, le naissain peut rester sur cordes jusqu'en décembre, avec des risques accrus de décrochage. La durée de grossissement des moules sur pieux est plus faible et les taux d'occupation des concessions peuvent être très élevés.

Cette méthode culturale sans désépaississement entraîne une pratique plus intensive du catinage. Ces filets permettent, en empêchant la chute des paquets de moules externes, de maintenir un nombre de moules par pieu élevé. En baie du Mont Saint Michel, secteur caractérisé par des rendements par pieux exceptionnels, un très grand nombre de moules est maintenu par 3 à 8 catins posés au fur et à mesure de la pousse. Pour les autres méthodes d'élevage 1 à 3 filets par pieu sont utilisés.

Durée moyenne du grossissement sur pieux des moules de l'année « N » : 4,7 mois
Taux moyen d'occupation : 93 %

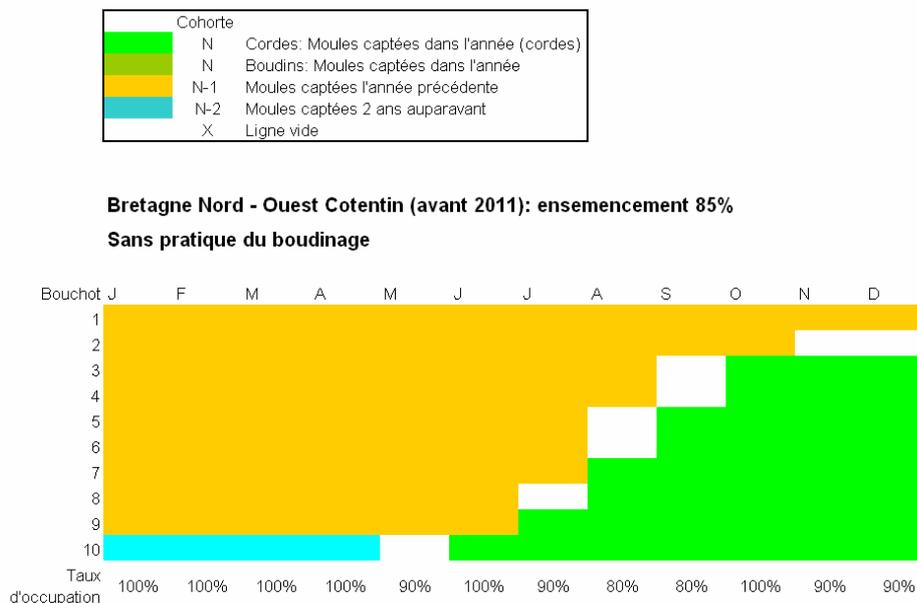


Figure 5.12 : Garnissage sur cordes sans limitation des taux d'ensemencement : Calendrier d'occupation théorique des bouchots d'élevage

Des limitations des taux d'ensemencement permettent de mieux maîtriser le garnissage en étant moins tributaire des dates de récolte : c'est le cas de la Baie du Mont Saint Michel (55% à 65%) et de la Normandie depuis 2011 (70%). Cette méthode permet également une forte réduction des taux d'occupation. Dans l'exemple qui suit, nous avons pris le cas d'un ensemencement à 60%. Dans le cas de la Baie du Mont Saint Michel, il est possible de retarder la récolte les années où la croissance est mauvaise car le garnissage peut être malgré tout effectué en grande partie.

Durée moyenne du grossissement sur pieux des moules de l'année « N » : 6 mois
Taux moyen d'occupation : 71 %

Type MSM: ensemencement 60%

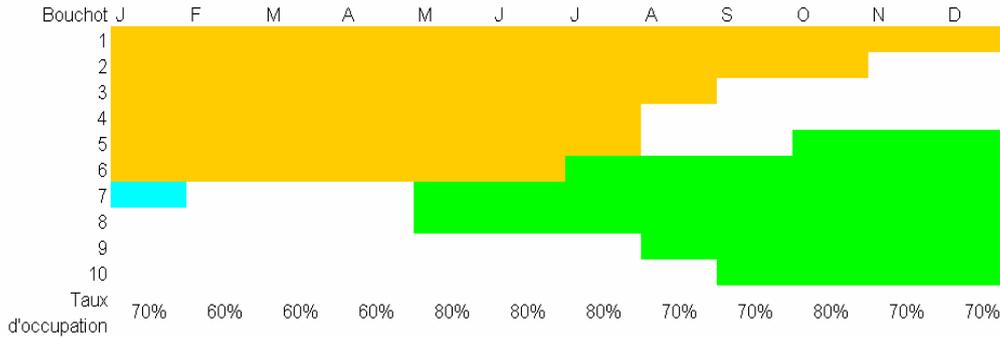


Figure 5.13 : Garnissage sur cordes avec limitation des taux d’ensemencement : Calendrier d’occupation théorique des bouchots d’élevage

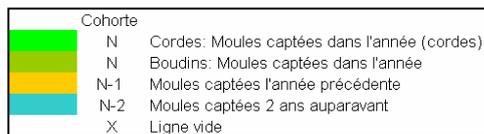
Dans les deux exemples choisis, la mise en place des taux d’ensemencement a permis une augmentation de plus d’un mois de la durée de grossissement sur pieux ainsi qu’une baisse de 20% de l’occupation des concessions. En contrepartie, le nombre de pieux à pêcher a diminué de 30%. Ce type de mesures permet un accroissement de la productivité sur des sites saturés.

5.4.4 Garnissage semi-continu

Cette pratique constitue un intermédiaire entre le garnissage continu et le « tout en cordes » vu précédemment : les cordes peuvent être posées jusqu’en octobre et d’autres pieux sont garnis en boudins à l’automne (moins d’un tiers en général). Ce mode de culture est pratiqué dans les baies de Saint Brieuc, l’Arguenon et la Fresnaie par une majorité de producteurs et dans le secteur Ouest Cotentin par une minorité de mytiliculteurs. Le site de Boyard a également été classé dans cette catégorie. En effet, deux tiers des pieux sont ensemencés en cordes, le tiers restant étant garni en boudins de filières : le désépaulement est rarement nécessaire malgré des longueurs de cordes posées importantes (4 à 4,5 m).

Par rapport à un schéma sans boudinage et sans limitation des taux d’ensemencement, cette technique permet de limiter la durée de stockage des cordes sur chantier et de gagner près d’un mois en pré-grossissement sur pieux. Les taux d’occupation restent élevés mais seront beaucoup plus variables d’une année à l’autre en fonction de la disponibilité en pelisses.

**Durée moyenne du grossissement sur pieux des moules de l’année « N : 5,6 mois
Taux moyen d’occupation : 93 %**



Type BSB: ensemencement 85% 25% boudinage

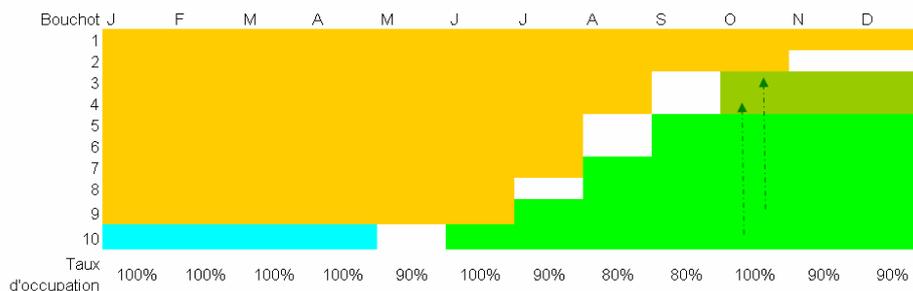


Figure 5.14 : Garnissage semi-continu: Calendrier d’occupation théorique des bouchots d’élevage

5.5 Évolutions culturelles récentes

Ces 35 dernières années sont marquées par d'importantes évolutions des pratiques d'élevage ; certaines sont même très récentes. Une synthèse en est présentée ici.

Principales évolutions recensées (lors des rencontres et dans la bibliographie) :

- mécanisation,
- désaisonnalisation estivale,
- abandon des techniques de boudinage,
- mise en place de taux d'ensemencement.

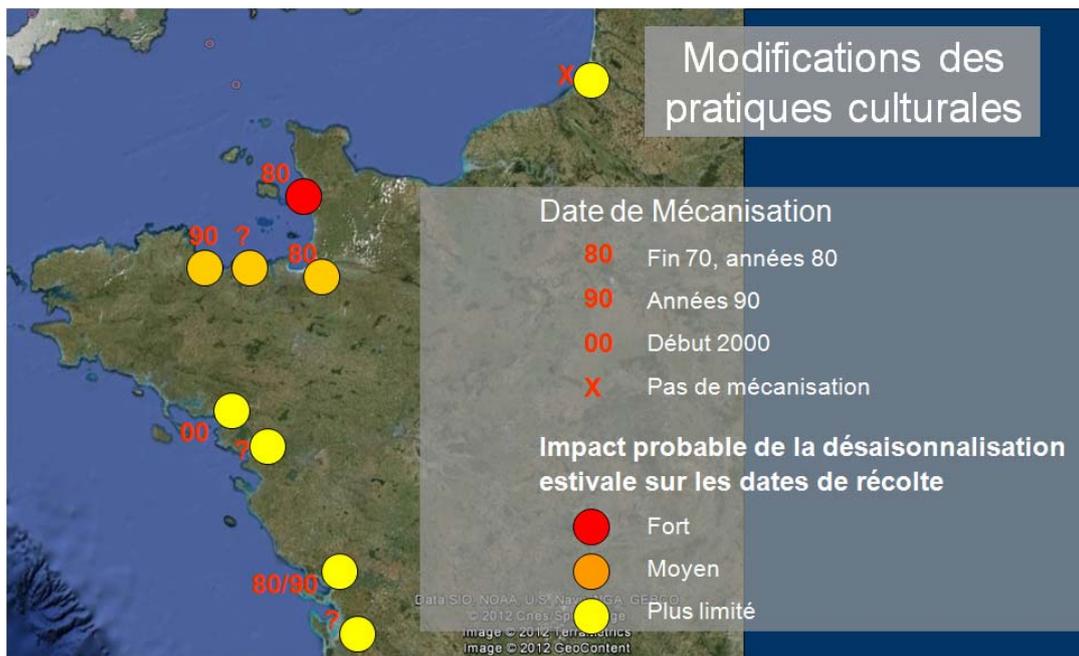


Figure 5.15 : Date de mécanisation dans les principaux bassins d'élevage et impacts de la désaisonnalisation estivale sur les dates de récolte

5.5.1 La mécanisation

Plusieurs évolutions techniques majeures ont marqué la fin des années 70, notamment le recours à des moyens nautiques plus performants (barges, amphibie) et l'invention de la pêcheuse. Ces outils ont permis d'exploiter de nouveaux sites plus contraignants. Ces évolutions sont nées en Baie du Mont Saint Michel et dans le Cotentin puis se sont diffusées dans les autres bassins pendant une vingtaine d'années.

La mécanisation a permis :

- un travail plus efficace et moins éprouvant
- une augmentation forte des taux d'occupation et de la hauteur des pieux induisant une hausse de la production et de la productivité économique des entreprises.
- une baisse de productivité biologique car la pêcheuse ne permet pas de laisser les moules sous taille en grossissement. Plus de déchets seront donc produits.
- une hausse possible de la compétition trophique en lien avec une densité d'élevage plus forte.

Ces évolutions sont déjà anciennes sur la majorité des sites. Cependant, les bassins de Vilaine et d'Yves se sont mécanisés récemment (fin des années 90, début 2000). Les évaluations de stocks réalisés dans les Pertuis montraient un fort accroissement du nombre de pieux exploités sur Yves en lien avec une mécanisation partielle (Le Moine, 2001). Cette forte hausse des taux d'occupation peut également entraîner une augmentation importante de la durée de stockage sur les chantiers pour les bassins boudinant peu ou pas. La croissance et la survie du naissain sur les cordes peuvent être de ce fait fortement impactées. La mise en place de taux d'ensemencement limitants permet de corriger cet effet. La mécanisation en lien avec la désaisonnalisation estivale a également conduit à décaler le pic d'occupation sur les concessions de l'automne à la fin du printemps.



Figure 5.16 : Engins mytilicoles – (1) : Barges à la Plaine sur Mer, (2) : dans le Pertuis Breton – (3) : Pêcheuse en Baie du Mont Saint Michel – (4) : Amphibie en Baie de l'Arguenon (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

5.5.2 La désaisonnalisation estivale

Cette tendance date d'il y a moins de 15 ans. En 1999, la période de consommation maximale s'échelonnait entre septembre et novembre (Daniel, 2000) ; aujourd'hui c'est durant l'été qu'est écoulée la plus grosse partie de la production. Cette évolution est liée en premier lieu à l'apparition du phénomène « moules/frites ». L'utilisation de moules comme produit d'appel par les GMS durant l'été a contribué à amplifier cette tendance.

Les saisons de récolte s'échelonnaient auparavant de juin à février dans un sens Sud – Nord avec un pic de vente à l'automne : les Pertuis commercialisaient les premiers à partir de juin et les Normands démarraient les pêches à partir d'août.

La désaisonnalisation de la consommation implique un décalage de la date de récolte d'au moins un mois sur certains secteurs. Dans l'Ouest Cotentin, les pêches démarrent désormais dès le mois de juillet pour des pics de vente d'août à novembre (Bezin, 2011). La demande étant plus forte et plus précoce, il est

possible qu'un décalage des pêches ait également eu lieu pour les producteurs de Gascogne. D'autre part, cette tendance entraîne une compétition entre bassins d'élevage sur le marché national alors qu'auparavant, les saisons distinctes permettaient d'éviter une franche confrontation.

Il est possible que cette tendance participe à une forte augmentation de la biomasse en élevage en Normandie. L'occupation des bouchots a nettement augmenté entre 1995 (50%, Kopp) et 2006 (73%, Nogues). Il semble qu'un démarrage plus tardif des pêches obligeait les mytiliculteurs à limiter spontanément les taux d'ensemencement pour pouvoir garnir les pieux avant août/septembre et le début de la récolte. Les schémas d'élevage théoriques présentés figure 5.17 permettent d'illustrer cette hypothèse qui pourrait expliquer une augmentation de plus de 40% de la biomasse élevée en Ouest Cotentin en dix-sept ans (Nogues & Gangnery, 2008).

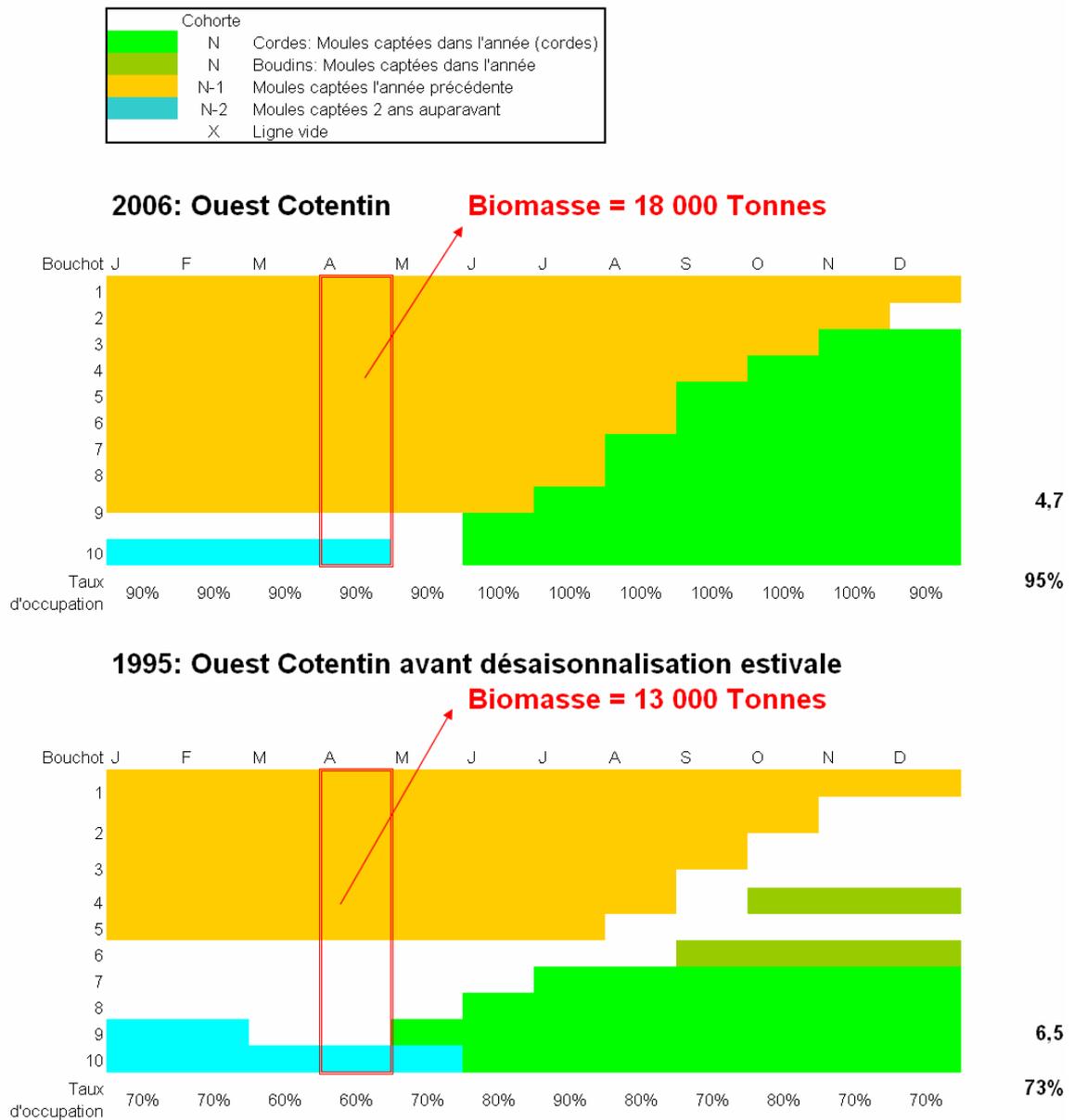


Figure 5.17 : Calendrier d'occupation théorique des bouchots d'élevage avant et après la désaisonnalisation estivale des récoltes en Ouest Cotentin

Trois types d'effets négatifs peuvent y être associés :

- des pieux pêchés trop tôt donc une productivité biologique en baisse ce qui génère également une plus grande quantité de déchets ;

- une forte augmentation du taux d'occupation moyen et donc de la compétition trophique ;
- un allongement important de la durée du stockage sur chantier entraînant une moins bonne croissance du nouvelain et des pertes de naissain pouvant être conséquentes.

5.5.3 L'abandon des techniques de boudinage

Cette tendance a été notifiée uniquement dans les bassins non-captants. Certains producteurs utilisent de moins en moins cette méthode qui permet à la fois une limitation des densités et un garnissage décalé de nouveaux pieux.

Trois raisons principales ont été citées pour expliquer ce changement technique :

- une diminution apparente du garnissage (Figure 4.12),
- le temps et le travail à consacrer à cette activité,
- la difficulté de planifier le garnissage en boudins une année donnée.

L'abandon de cette pratique, si elle est n'est pas accompagnée d'une limitation des taux d'ensemencement conduit à un allongement de la durée moyenne de stockage sur les chantiers donc une baisse de croissance et de la survie du naissain.

5.5.4 La mise en place de taux d'ensemencement limitants

Cette méthode de limitation de la biomasse en élevage ne peut être pratiquée que dans les bassins non-captants (surcaptive). Mises en place en la Baie du Mont Saint-Michel et depuis 2011 en Normandie, ces restrictions permettent à la fois :

- de limiter les taux d'occupation et donc la biomasse en élevage ;
- de garnir les pieux avant que ne débute la récolte ce qui permet de limiter la durée de stockage sur les chantiers ;
- de récolter aux dates optimales, sans contrainte de regarnissage immédiat.

Ces mesures permettent de réguler les effets néfastes associés aux évolutions évoquées précédemment.

5-6 Densités d'élevage

5.6.1 Indicateurs et méthodes de calcul

Deux indicateurs de densité ont été utilisés : le nombre de pieux et la longueur de cordes posée par unité de surface.

La densité d'élevage en nombre de moules par ha peut se décomposer en un nombre de pieux ensemencés par ha multiplié par un nombre de moules par pieu (approché par le nombre de mètres de cordes ensemencés par pieu).

5.6.1-a Unité de surface utilisée

Dans la plupart des bassins, un bouchot désigne une ligne de 100 mètres de pieux. Ceux-ci sont souvent regroupés en groupe de 5 bouchots espacés chacun de 25 mètres. 5 bouchots occupent donc une surface d'un hectare. Cependant, les schémas des structures prévoient des couloirs ou des chenaux pour faciliter la circulation de l'eau et des embarcations. L'exemple de la Normandie est présenté dans la figure 5.18: la présence de couloirs de 100 m parallèles à la côte toutes les deux lignes de bouchots et de chenaux de 50 mètres perpendiculaires à la côte créent des espaces vides importants qui ont été pris en compte dans l'évaluation des surfaces occupées. Dans ce cas de figure, un groupe de 5 bouchots occupe 2,43 hectares.

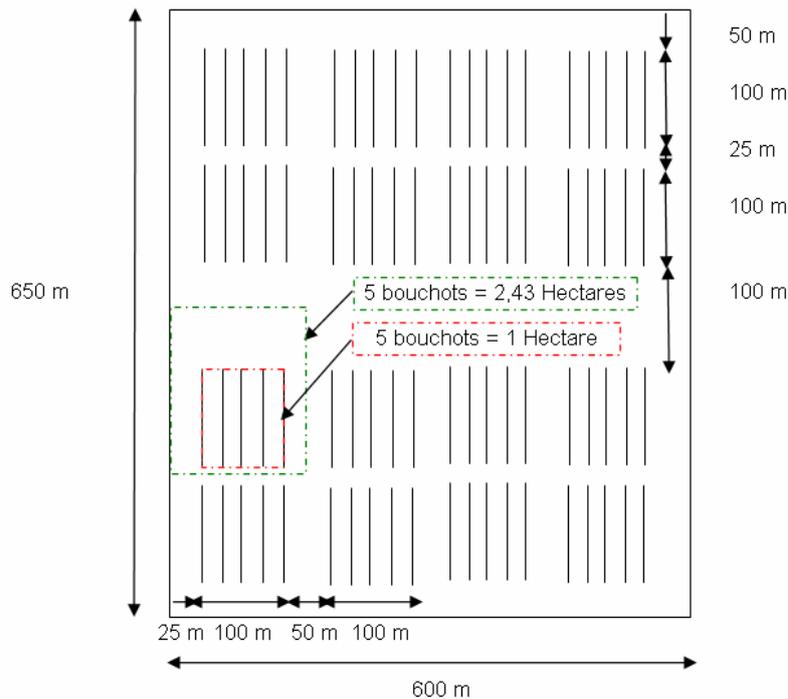


Figure 5.18 : Évaluation des surfaces occupées par les bouchots.

Lors de l'évaluation des stocks conchylicoles dans les Pertuis en 2001, Olivier Le Moine a tenu compte de ces espaces de circulation dans l'évaluation des surfaces occupées (Le Moine, 2001). Même si la méthode de calcul n'est pas identique (évaluation sous SIG), les estimations de densité effectuées alors ont été reprises.

5.6.1-b Évaluation des densités de pieux par hectare

Les densités de pieux plantés par hectare ont pu être évaluées dans les principaux bassins. Cet indicateur permettra d'estimer une charge exprimée en unités d'élevage (pieux). Les données sur l'occupation des concessions sont issues des évaluations de stocks conchylicoles menées par l'Ifremer en Baie du Mont Saint Michel (Gérard, 2002), en Normandie en 2006 (Nogues, Gangnery, 2008) et dans les Pertuis en 2001 (Le Moine, 2001). Certaines modifications ont pu être apportées après discussion avec des producteurs. Pour les autres bassins d'élevage, les densités ont été estimées sous SIG (Arcview) et en tenant compte d'indications données par les producteurs et la bibliographie (Le Grel, Bezin...).

Les taux d'ensemencement des pieux sont évalués sur la base des données bibliographiques (Nogues, Bezin, Le Moine) ou à partir des discussions et résultats d'enquête. Une densité exprimée en pieux ensemencés à l'hectare peut être ainsi estimée.

Du fait des approximations, ces résultats ne doivent être pris qu'à titre indicatif. Une évaluation régulière des stocks conchylicoles serait indispensable pour pouvoir définir rigoureusement ces indicateurs de densité.

5.6) 1-c Évaluation des longueurs de cordes posées par hectare

Cet indicateur permettra d'évaluer une charge exprimée en nombre de moules initiales par unité de surface. En confrontant ces longueurs de corde posées aux performances d'élevage, il devient possible d'estimer les pertes de moules, difficilement quantifiables par ailleurs. Les pratiques de garnissage sont évaluées à partir des discussions avec les professionnels. Peu d'éléments bibliographiques récents existent sur le sujet, mis à part pour les secteurs d'Agon, La Vanlée en Normandie (Bezin, 2011).

L'évaluation des longueurs de corde posées par unité de surface tient compte de plusieurs éléments :

- densité de pieux ensemencés à l'hectare : DPE
- longueur moyenne de corde posée par pieu : lc
- ratio de pieux garnis en boudins issus du désépaulement %B
- ratio de pieux garnis en boudins issus de filières %F

Dans ce dernier cas, nous avons considéré qu'un boudin de filière équivalait à trois mètres de cordes posées.

Les longueurs de corde posées à l'Hectare (DC) sont alors calculées de la manière suivante :

$$DC = DPE * [lc * (1 - \%B - \%F) + 3 * \%F]$$

Les résultats issus de ces approximations ne doivent être pris qu'à titre indicatif. Des enquêtes régionales portant sur les pratiques mytilicoles permettraient de mieux identifier les différences qui apparaissent entre les différents bassins.

5.6.2 Densités de pieux à l'hectare

La densité de pieux plantés constitue l'indicateur le plus simple. Le nombre de pieux ensemencés à l'hectare est cependant un indicateur de densité plus représentatif. Les taux d'ensemencement pouvant être parfois réglementés. En fonction des parcours zootechniques, 2 à 3 cohortes peuvent coexister sur un même site d'élevage. Entre les bassins mytilicoles Manche/Atlantique le nombre de pieux ensemencés par ha peut varier d'un facteur 6 entre zones très denses et très éclaircies.

Les sites les plus denses en nombre de pieux ensemencés sont essentiellement localisés dans le Golfe de Gascogne : Aix (> 1000 pieux/Ha en 2001), Boyard (644 pieux/Ha) et la Baie de Vilaine (> 800 pieux/Ha). Dans ce dernier secteur, les concessions sont attribuées à la surface (sauf pour le site de Kervoyal) avec une autorisation portant sur 1400 pieux plantés à l'hectare. La mécanisation il y a une quinzaine d'années a nécessité d'éclaircir ces zones, d'où l'estimation actuelle de 1000 pieux/hectare en moyenne. Sur le site de Pont-Mahé, en Baie de Vilaine, la moitié des concessions est destinée au captage. Les chantiers à cordes étant localisés en haut d'estran, une surface d'environ 52 Hectares n'a pas été considérée comme zone de production en tant que telle. Le site de Kervoyal est deux fois moins dense avec environ 460 pieux plantés à l'hectare.

La densité de pieux plantés en Baie de Somme est équivalente à celle de Boyard ; cependant, la pratique d'une pêche continue suppose un taux de pieux ensemencés moindre (partie 5.4-1) et donc une charge probablement inférieure une grande partie de l'année.

La baie du Mont Saint Michel est le bassin le moins dense avec de 150 à 200 pieux ensemencés pour 230 à 300 pieux plantés à l'Hectare.

Pour l'ensemble des autres secteurs, les densités exprimées en pieux ensemencés sont comparables avec de 325 à 410 pieux/hectare pour un nombre de pieux plantés compris entre 360 à 500 pieux à l'hectare. Ainsi, malgré un plus fort nombre de pieux par bouchot plantés dans les baies de Bretagne Nord (180 à 190 pieux) par rapport à la Normandie (250 pieux sur deux rangées), les taux d'ensemencement plus faibles pratiqués compensent ce plus grand nombre de pieux (producteurs, Bezin, 2011). Depuis 2011, une modification du schéma des structures en Normandie limite l'ensemencement à 70% des pieux. Avec 340 pieux ensemencés à l'hectare, cette densité est désormais comparable à celle de la Baie de Saint Briec où le garnissage n'est pas régulé. L'objet de ce rapport étant d'étudier les performances mytilicoles sur la période 2005-2011, nous avons conservé les taux d'ensemencement estimés par Bezin pour les secteurs d'Agon, La Vanlée en 2010 (73 %).

Dans le Pertuis Breton, les pieux sont serrés et plantés sur deux rangés. Cependant, des bouchots deux fois plus courts (environ 50 m) génèrent un plus grand nombre d'espaces de circulation ce qui explique une densité moyenne (450 pieux plantés/Ha). Lors de l'évaluation des stocks effectuée en 2001 par la station Ifremer de La Tremblade, les taux d'occupation mesurés étaient en moyenne de 72 % (Le Moine, 2002). Comme en Baie de Vilaine, une partie des concessions étant dédiée au captage, nous avons donc choisi des taux d'ensemencement de 90% pour le Pertuis Breton et Boyard.

Situation des densités avant 2011 (changements de schéma des structures en Normandie et en Baie de l'Arguenon)

Bassin d'élevage	Site d'élevage	Pieux plantés à l'Hectare	Taux d'ensemencement	Pieux ensemencés à l'Hectare	Sources
Baie de Somme	Baie de Somme	778	<60%*	467	Ropert, Olivési (2002) Producteurs
Normandie	Chausey	470-500	72%	350	Nogues, Gangnery (2008) Schéma des structures
	Ouest Cotentin	470-500	73%	354	Bezin (2010) Nogues, Gangnery (2008) Producteurs
Baie du Mont St-Michel	Larronière	226	65%	148	Gerla (1990) Schéma des structures(SIG) Producteurs
	Cherrueix	226	65%	148	
	Hermelles	287	<65%*	187	
	Super-Est (Zone bleue)	287	65%	187	
	Super-Est	287	55%	158	
	Toutes zones	263	62%	161	
Baie de l'Arguenon	Baie de l'Arguenon	362	90%	325	Schéma des structures (SIG) Producteurs
Baie de St-Brieuc	Baie de St-Brieuc	380	90%	342	Schéma des structures (SIG) Producteurs
Baies de Vilaine et Pont-Mahé	Kervoyal	461	90%*	415	Chauvin (1993) Le Grel (2003) Schéma des structures (SIG) Producteurs
	Pont-Mahé**	1026*	50%*	821**	
	Autres sites	1026*	80%*	821	
	Toutes zones	728	85%*	619	
Pertuis Breton	La Tranche	507	69%*	350	Le Moine (2002) Producteurs
	Aiguillon	446	75%*	333	
	Marsilly	358	74%*	265	
	Toutes zones	454	90%***	409	
Pertuis d'Antioche	Yves	486	77%*	374	
	Aix	1176	97%*	1141	
	Boyard	715***	90%***	644	

* Cas de quelques producteurs ou donnée ancienne: Nécessité de valider par une enquête plus poussée sur ce site

** Pont-Mahé est le principal site de captage en Baie de Vilaine, la partie captage (52 Ha) n'est pas prise en compte

*** Données modifiées par rapport à Le Moine (2002) suite aux rencontres avec professionnels

Figure 5.19 : Estimation des densités de pieux à l'Hectare sur les principaux bassins d'élevage avant 2011.

5.6.3 Longueur de cordes posées à l'hectare

Exprimées en longueur de cordes posée par unité de surface, les densités paraissent plus homogènes sur l'ensemble des bassins avec en général de 0,9 à 1,2 km de cordes posées par hectare.

La **baie du Mont Saint Michel** reste le bassin le moins chargé : environ 700 mètres/Ha. Cependant, avec plus de 4 mètres de cordes posées par pieu et l'absence de désépaissement (Gerla, 1990, producteurs), c'est le bassin où la densité par pieu est la plus forte.

A l'opposé, sur **le site de Boyard**, la charge en moules s'avère très élevée (2,5 km de cordes posées à l'hectare soit 3,8 mètres effectivement posés par pieu). Malgré des densités par pieu importantes, le désépaulement n'est que rarement nécessaire (producteur, communication personnelle). Dans ce bassin, les mytiliculteurs suspectent des pertes importantes de moules ce qui pourrait expliquer la nécessité d'une forte charge initiale.

Malgré une densité de pieux très élevée, les producteurs de **Baie de Vilaine** utilisent une quantité de cordes par unité de surface comparable à celle des autres bassins. Cependant, cette estimation est sous-évaluée : en effet, les mytiliculteurs récupèrent les pelisses de moules surcaptées et désépaulement les pieux laissés vides (captage naturel). Ces apports de moules ne sont pas comptabilisés. Ce secteur est malgré tout caractérisé par une pratique intensive du boudinage et une optimisation de l'utilisation des cordes : c'est le bassin où la densité de moules par pieux est la plus faible. Cette stratégie d'élevage est antagoniste des pratiques en usage en Baie du Mont Saint Michel (densité à l'hectare faible mais charge par pieux très élevée).

En **Baie de Somme**, la charge par pieu très basse s'explique par leur hauteur beaucoup plus faible que sur d'autres secteurs (1,8 m).

D'une manière générale, à l'exception de Boyard, de l'estuaire de Vilaine et de la Baie du Mont Saint Michel, la longueur de cordes initialement posée par pieu dépend de l'importance des pratiques de boudinage. Dans le Pertuis Breton où cette activité représente une charge de travail conséquente (d'août à novembre), 6 mètres de cordes seront posées contre seulement 3 mètres en Ouest Cotentin (absence de désépaulement pour une majorité de producteurs). La pratique du boudinage permet la réalisation d'une phase intermédiaire d'élevage (prégrossissement) autorisant une pose rapide de l'ensemble des cordes. Deux effets bénéfiques peuvent être attendus: des pertes moindres de moules par densité dépendance et une optimisation de la croissance. Sur ces secteurs, malgré des pratiques culturelles très différentes, le nombre de moules présentes sur un pieu doit être comparable au moment de la récolte.

Situation des densités avant 2011 (changements de schéma des structures en Normandie et en Baie de l'Arguenon)

Bassin d'élevage	Site d'élevage	Longueur de cordes par pieu (m)	Ratio de pieux garnis en boudins (désépaulement)	Ratio de pieux garnis en boudins de filières	Densité par pieu (m)	Longueur de cordes posées par Hectare (m)	Sources
Baie de Somme	Baie de Somme	2,5*	20%*	0%	2	876	Ropert, Olivési (2002) Producteurs
Ouest Cotentin	Ouest Cotentin	3	0%**	0%	3	1062	Bezin (2010) Nogues, Gangnery (2008) Producteurs
Mont St-Michel	Toutes zones	4,5*	0%	0%	4,5	725	Gerla (1990) Schéma des structures(SIG) Producteurs
Baie de l'Arguenon	Baie de l'Arguenon	3,5*	20%*	0%	3	887	Schéma des structures (SIG) Producteurs
Baie de St-Brieuc	Baie de St-Brieuc	3,5*	20%*	0%	3	934	Schéma des structures (SIG) Producteurs
Baie de Vilaine	Toutes zones	3*	50%*	0%	1,5	929	Chauvin (1993) Le Grel (2003) Schéma des structures (SIG) Producteurs
Pertuis Breton	Toutes zones	6*	33%*	33%*	3	1230	Le Moine (2001) Producteurs
Pertuis Antioche	Boyard	4,25*	0%*	33%*	3,8	2469	

* Cas de quelques producteurs ou donnée ancienne: Nécessité de valider par une enquête plus poussée sur ce site

**Moins de la moitié des mytiliculteurs boudinent sur les secteurs d'Agon, La Vanlée (Bezin, 2010)

Figure 5.20 : Pratiques de garnissage et estimation des densités exprimées en longueurs de cordes posées à l'hectare

6. Performances mytilicoles et leurs évolutions

6.1 Indicateurs des performances mytilicoles

6.1.1 Données disponibles

Plusieurs sources de données ont été utilisées :

- des bases de données professionnelles collectées lors des rencontres (en particulier E. You, V. Hommery, D. Desbois), dont l'exploitation a été rendue possible grâce au développement d'algorithmes par O. Le Moine et J.Y. Stanisière
- les retours de l'enquête sur les performances mytilicoles (Annexe 5) portant sur les résultats de production de 43 entreprises (39 réponses exploitées)
- les données de production brute et nette des pieux témoins suivis par le SMEL (Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral) de 2003 à 2011 dans le cadre du réseau REMOULNOR (JL. Blin)

6.1.2 Indicateurs de productivité économique

Le rendement par pieu et la production à l'hectare seront utilisés comme indicateurs de productivité économique.

6.1.2-a Rendement par pieuensemencé

Le rendement par pieuensemencé est le ratio entre la production de l'année « N » et le nombre de pieuxensemencés l'année « N-1 ». Cet indicateur exprime la productivité du travail dans la mesure où celui-ci est à peu près proportionnel au nombre de pieux exploités. La valeur foncière d'une concession dépendra aussi largement de ce rendement par pieu. Cependant, il sera sous-évalué si, pour des raisons commerciales ou zootechniques, les producteurs choisissent de repousser à l'année suivante la récolte d'une partie des moules (moules de 2 ans). Cet indicateur s'avère donc inadapté si la part des « 2 ans » fluctue d'une année sur l'autre. Dans le cas de la Baie du Mont Saint Michel, la quantité de pieuxensemencés une année donnée étant réglementairement fixée, les rendements peuvent facilement être rapportés à ce nombre de pieux.

A l'inverse, pour d'autres secteurs, c'est généralement la productivité par pieu pêché qui est relevée par les producteurs. Dans ce cas, cet indicateur peut surévaluer la productivité : par exemple, si une partie de la productionensemencée l'année N-1 est détruite durant l'hiver (tempête). Dans la mesure du possible, le rendement par pieuensemencé a cependant été retenu comme référence.

6.1.2-b Productivité à l'hectare

La production peut aussi être rapportée par unité de surface (par hectare). Les charges de l'entreprise étant moins corrélées à la surface qu'au nombre de pieux, c'est un indicateur économique moins pertinent. Par contre, dans les cas où les concessions sont accordées en surface, la valeur de « cession » va dépendre de cette productivité surfacique. La productivité à l'hectare est obtenue en multipliant le rendement par pieuensemencé par le nombre de pieuxensemencés sur un hectare de concession. Cette méthode de calcul se justifie car, dans les retours de l'enquête mytilicoles, seuls le nombre de pieux étaient connus.

6.1.3 Indicateurs de productivité biologique

La production à l'hectare, la croissance et le rendement brut par pieu pêché seront utilisés comme indicateurs de la productivité biologique.

Il est possible d'exprimer la productivité biologique à différentes échelles : par moule (croissance, survie), par pieu (nombre de moules x production par moule) et par ha (nombre de pieux x production par pieu).

6.1.3-a Production à l'hectare

La production à l'hectare dépend avant tout des caractéristiques environnementales et culturelles d'un site d'élevage. A pratiques culturales égales (nombre de pieux/ha...), le tonnage produit par ha reflète la capacité trophique des différents bassins mytilicoles.

Sur la base des densités d'élevage calculées dans la partie 5-6, il est également possible d'élaborer un indicateur évaluant la **production d'un mètre de cordes**. Il peut s'agir d'une manière indirecte d'estimer l'importance des pertes de moules (par prédation et/ou décrochage) entre bassins d'élevage.

6.1.3-b Rendement brut par pieu pêché

Les mytiliculteurs évaluent le rendement net, c'est-à-dire la quantité de moules commercialisées par pieu. Cet indicateur ne permet donc qu'une évaluation partielle de la productivité biologique : en effet, les moules sous taille éliminées par la calibration ne sont pas comptabilisées bien qu'elles puissent représenter une part significative de la biomasse (de 10% à plus de 50%).

Dans le cadre du réseau Remoulnor en Normandie (SMEL), les rendements bruts sont évalués sur des pieux témoins. Ces résultats permettront d'estimer la biomasse qui est rejetée après le tri sur un site témoin une année donnée.

6.1.3-c Poids moyen des moules après calibration (indicateur de croissance)

Les paramètres suivis par les professionnels n'ont pas pour vocation d'estimer la croissance des moules ; ils servent avant tout à évaluer la qualité du produit. Les réseaux régionaux Remoula (Pertuis charentais) et Remoulnor (Normandie) assurent des suivis de croissance en conditions contrôlées et standardisées depuis plus de 10 ans. Les résultats obtenus ont déjà fait l'objet de traitements présentés dans des rapports existants ou en cours de publication (Robert, 2005 ; Soletchnik, Robert, Le Moine, 2013 ; Blin 2004 & 2010).

Dans le cadre de ce rapport, le traitement des informations professionnelles a donc été privilégié.

Un jeu de données regroupant des suivis professionnels réalisés pour 15 entreprises de la Baie de Vilaine a été transmis par Vincent Hommery. Deux paramètres sont évalués sur les moules après calibration :

- un indicateur de croissance exprimé en nombre de moules par kilogramme, à la récolte ;
- un indicateur de qualité exprimé par le ratio entre le poids de chair et le poids total des moules.

Pour chaque relevé, la date et le site de pêche sont renseignés. Ces informations sont collectées durant toute la saison de pêche les années 2008 à 2011. Ces suivis étant effectués après le tri, ils ne peuvent représenter la croissance de l'ensemble des individus d'un pieu. Le nombre de moules par kilogramme mesuré après tri peut cependant constituer un indicateur de croissance intéressant.

Dans la figure 6.1, les résultats de suivi de croissance du réseau Remoulnor sur le site de Pirou sont présentés pour les années 2007 et 2010. La moyenne et l'écart-type des tailles de moules permettent d'estimer le nombre d'individus qui seront sélectionnés après calibration.

En 2007, la taille moyenne est très nettement supérieure à la taille de tri : 79 % des individus seront conservés avec en moyenne 96 moules par kg (soit 10,4 g/moule, estimation sur la base d'une relation allométrique L-P dans Mazurié et al. 2001).

En 2010, la taille moyenne est inférieure à la taille de tri : seuls 44 % des individus seront conservés avec en moyenne 125 moules par kg (soit 8 g/ moule).

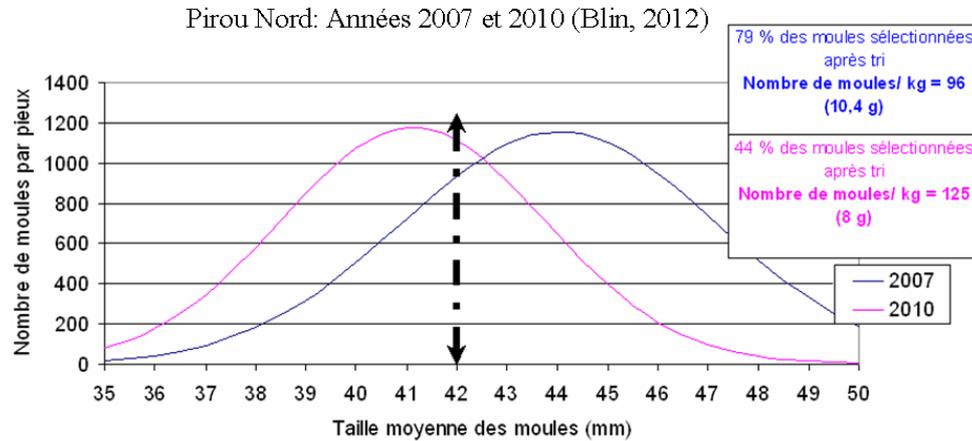


Figure 6.1 : Effet d'une diminution de la croissance sur la quantité et la taille des individus sélectionnés après tri (Remoulnor, Blin JL.).

Quand la croissance diminue, la taille des moules sélectionnées après calibration baisse et tend vers une valeur limite correspondant à la taille de tri. Le poids moyen des individus diminue en conséquence. Le nombre de moules par kilogramme mesuré après tri sera utilisé comme indicateur de croissance. Il sera converti en poids moyen par moules et exprimé en grammes (**1000 / nombre de moules par kg**).

Pour faciliter la réalisation des traitements statistiques, les données de taux de chair exprimées en pourcentage ont été transformées (**Fonction : $f(x) = \text{Arcsinus}(\sqrt{x})$**).

6.2 Variabilité spatiale inter-bassins

6.2.1 Exploitation de l'enquête

L'enquête sur les performances mytilicoles (cf. Annexe 5) a permis la collecte de données portant sur la production, l'ensemencement et la récolte de 43 entreprises. 39 de ces jeux de données ont été exploités. L'objectif étant d'évaluer la variabilité interannuelle et inter-site des performances, seuls les enquêtes recensant au moins quatre années complètes ont été prises en compte.

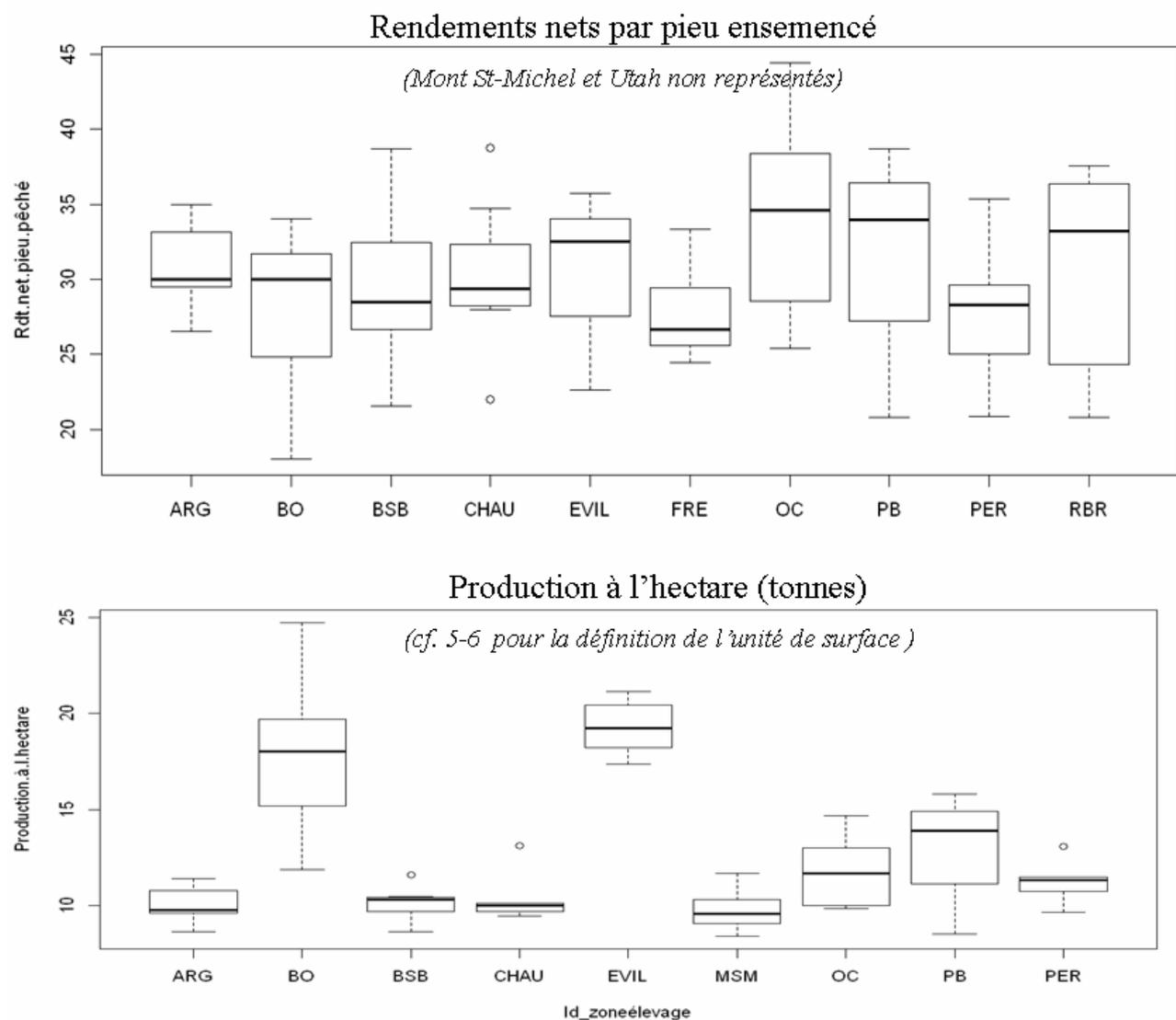
Dans cette partie, la variabilité existant entre les différents bassins d'élevage sera analysée. Cependant, le taux de retour des enquêtes ne permet pas de généraliser ces résultats à l'ensemble des entreprises d'un bassin sauf dans le cas de la baie du Mont Saint Michel où l'échantillon semble représentatif (18 entreprises exploitant 47% du linéaire et produisant plus de 5 000 tonnes annuellement). Dans la figure 6.2 qui synthétise ces données, la ligne « nombre de réponses exploitées » représente le nombre d'entreprises considérées et une « valeur » désigne un résultat de production pour une entreprise une année donnée. Dans le tableau sont présentés les valeurs moyennes et extrêmes de rendements ainsi qu'une évaluation de la productivité par unité de surface calculée à partir des densités estimées dans la partie 5-6. La représentation de ces indicateurs de productivité sous la forme de graphique de dispersion (ou « Boîte à moustache ») permet d'illustrer la variabilité des données.

Sur les graphiques de dispersion, la barre noire représente la médiane délimitant la frontière entre 50% des valeurs supérieures et inférieures. Les rectangles blancs contiennent la moitié des valeurs. Les segments en pointillés indiquent la localisation des extrêmes qui sont représentés par un point lorsqu'ils se dégagent nettement de la tendance générale.

Sur le graphique de dispersion des rendements par pieu n'ont pas été présentées les valeurs d'Utah et de la Baie du Mont Saint Michel. Compte tenu de leur nette supériorité, leur représentation ne permet pas de visualiser les performances des autres bassins. Par ailleurs, un traitement spécifique des enquêtes a été réalisé pour la Baie du Mont Saint Michel. Il est présenté en annexe 1.

Le groupe « Pertuis » (noté PER) a été créé pour 3 entreprises qui exploitent à la fois des sites de grossissement dans le Pertuis d'Antioche (Fouras, Yves et Aix) et dans le Pertuis Breton (Aiguillon, Roulières). L'analyse des performances de ces producteurs dont l'exploitation est partagée de manière équitable entre ces deux Pertuis montre un schéma d'évolution distinct (Figure 6.9).

6.2.2 Productivité des bassins mytilicoles



Région	Normandie			Bretagne Nord					Bretagne Sud	Vendée/ Charente			Manche/Atlantique
Bassin d'élevage	Utah*	O. Cotentin	Chausey	Mt St-Michel*	Arguenon	Fresnaie	St-Brieuc	Brest	Vilaine	Pertuis Breton	Pertuis	Boyard	Synthèse
Codage	UT*	OC	CHAU	MSM*	ARG	FRE	BSB	RBR	EVIL	PB	PER	BO	
Nombre réponses exploitables	1	3	2	18	1	1	3	1	3	2	3	1	39
Nombre valeurs	4	16	8	122	7	7	16	7	16	13	21	7	244
Moyenne rdt/ pieux ensemencés	48*	32,3	30,4	60,8*	31,0	27,8	29,3	27,4	31,7	29,7	27,1	27,8	36,5 (pondérée)
Ecart type	12,1	5,7	4,9	12,8	2,4	3,3	4,5	7,3	3,9	4,9	3,5	5,6	
Min	31,9	25,4	22,0	35,9	26,5	24,4	21,6	20,8	22,6	20,8	20,8	18,0	18,0
Max	60,2	44,4	38,8	95,3	35,0	33,3	38,7	37,6	35,7	38,7	35,3	34,0	95,3
Estimation de la productivité à l'hectare		11,8	10,3	9,8	10,1		10,1		19,3	13,0	11,2	17,8	

* Données ne figurant pas sur le graphique de dispersion car trop élevées pour y être représentées

Figure 6.2 : Évaluation des performances mytilicoles des entreprises des bassins Manche/Atlantique – Représentation sous la forme de graphiques de dispersion permettant d'apprécier la variabilité intra-bassin (années et producteurs).

Avec en moyenne près de 61 kg/pieu, les meilleurs rendements sont mesurés en Baie du Mont Saint Michel puis sur le site d'Utah Beach dans l'Est Cotentin (48 kg/ pieu). Dans cette gamme de performances hautes, il serait par ailleurs possible d'inclure les secteurs de la Plaine dans l'estuaire de La Loire et le site de Kervoyal en baie de Vilaine. Pour les autres bassins, les écarts de rendements sont assez peu marqués avec des moyennes comprises entre 27-28 kg/pieu (Boyard, Pertuis (sites confondus) et Fresnaie) et 32 kg/pieu (Ouest Cotentin et Vilaine).

Exprimées par hectare, les productivités varient également du simple au double mais la hiérarchie observée précédemment n'est plus la même. *Il faut rappeler qu'avec le référentiel utilisé pour pouvoir comparer les bassins entre eux (cf. 5-6), un hectare ne décrit pas un groupe de 5 bouchots :*

- la baie de Vilaine et Boyard deviennent les sites les plus performants (18-19 tonnes/ hectare) ;
- les baies de Bretagne Nord (incluant la baie du Mont Saint Michel) sont les bassins les moins productifs avec environ 10 tonnes/ hectare (de 4 à 6 tonnes par ligne de pieux plantés).

A l'intérieur de certains sites, les écarts de productivité peuvent être importants en raison d'une variabilité marquée entre années de production (Pertuis Breton et Boyard) ou entre producteurs (Mont Saint Michel).

6.2.3 Des stratégies culturelles aux objectifs parfois antagonistes

L'analyse des indicateurs de productivité en lien avec la zootechnie révèle l'existence de stratégies culturelles aux objectifs parfois antagonistes. En fonction des bassins, il peut apparaître une volonté d'optimiser soit le travail, soit la surface et le captage.

Les différences de rendements par hectare dépendent essentiellement des caractéristiques environnementales des sites, mais les rendements par pieu peuvent également refléter l'effet de pratiques culturelles.

6.2.3-a Relations entre les indicateurs de productivité et la capacité trophique d'un bassin mytilicole

Sur la période considérée (2005-2011), il a été supposé que les pratiques ne variaient pas pour un même bassin. Les écarts entre années dépendent donc des variations environnementales mais les différences entre bassins peuvent être également liées à la zootechnie. La productivité d'un site d'élevage sera limitée par les caractéristiques environnementales de celui-ci. La notion de capacité trophique permet de définir le potentiel de production propre à un bassin mytilicole. Sur la figure 6.3 est représentée une **illustration théorique de ce concept : les chiffres présentés sont fictifs et les tendances volontairement exagérées**. Il apparaît que si le bassin est sursaturé, la productivité par unité de surface est proche de la capacité trophique du milieu.

-Si le bassin est sous-saturé, une augmentation de densité entraîne une amélioration de la productivité par hectare sans modification des rendements par unité d'élevage (figure 6.3).

-Si le bassin est sursaturé, une hausse de la charge implique une diminution de la productivité par pieu et une quasi-stagnation du rendement à l'hectare. A l'inverse, une baisse de la densité entraînera une amélioration de la productivité par pieu en diminuant peu la production globale (figure 6.3). Cependant, l'augmentation des rendements par unité d'élevage pourra nécessiter des modifications de pratiques (augmentation de la longueur de cordes posée par pieu).

Une densité d'élevage optimisée permet à la fois de maximiser la production globale et la productivité par pieu.

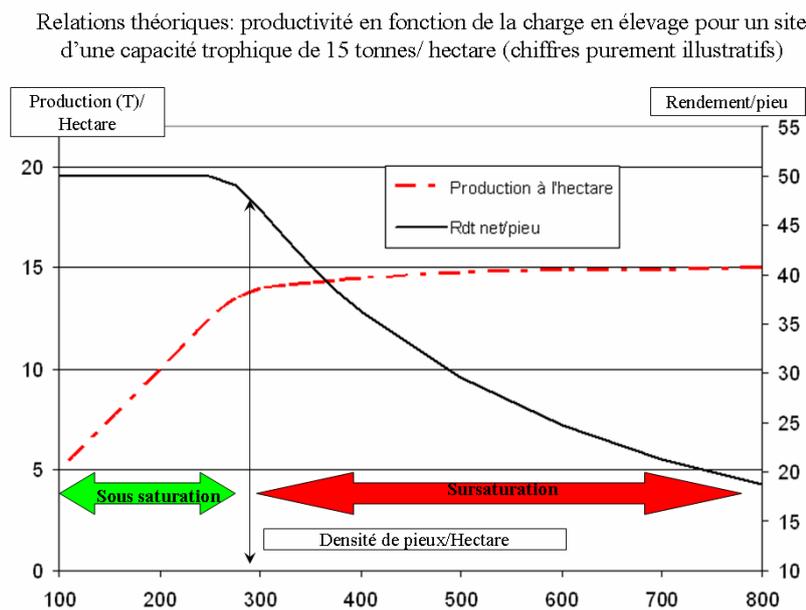


Figure 6.3 : Illustration théorique des relations entre les indicateurs de productivité et la densité d'élevage pour un bassin d'une capacité trophique de 15 tonnes (les chiffres présentés sont fictifs et les tendances volontairement exagérées)

6.2.3-b Productivité et caractéristiques culturelles des sites d'élevage

Sur la figure 6.4, les indicateurs de productivité des principaux bassins mytilicoles (7.2) 2) sont représentés sur un graphique en trois dimensions où les abscisses décrivent des caractéristiques culturelles propres aux sites d'élevage (6.6) 2) : la densité de pieux ensemencés par hectare et la longueur moyenne de cordes posées par pieu (qui sont des facteurs contrôlables par les producteurs).

Indicateurs de productivité par hectare et par pieu en fonction des densités (pieux ensemencés/Ha) et des longueurs de corde posées par pieu

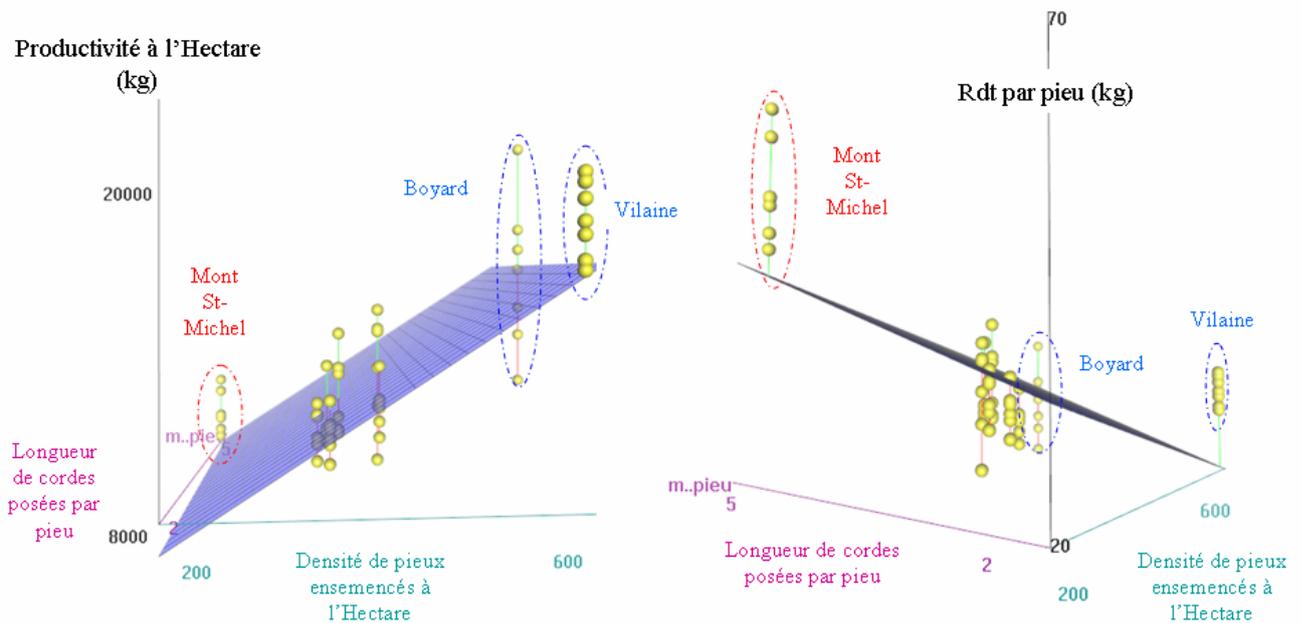


Figure 6.4 : Productivité par unité de surface et par pieu des bassins mytilicoles des façades Manche/Atlantique en fonction de la densité de pieu à l'hectare et du nombre de moules posées par pieu.

Productivité à l'hectare et densité de pieux

Depuis les années 1950 jusqu'à ce jour, les professionnels tendent à diminuer leurs densités d'élevage pour enrayer des épizooties majeures ou optimiser leurs rendements. Il apparaît peu probable que certains bassins mytilicoles soient encore en situation de sous saturation trophique. La productivité à l'hectare peut donc être considérée comme un indicateur de la capacité trophique d'un site mytilicole.

A l'échelle de tous les bassins français, elle apparaît proportionnelle à la densité de pieux ensemencés. Ces charges d'élevage constituent dans une certaine mesure une adaptation anthropique à des environnements plus ou moins favorables.

Boyard et la Baie de Vilaine, qui sont les deux sites les plus productifs sont également les plus denses. Cependant, des rendements par pieu plutôt moyens (Vilaine) voire faibles (Boyard) semblent suggérer l'effet d'une sursaturation (cf. figure 6.2). En Vilaine, le site de Kervoyal est près de deux fois moins chargé, cependant, avec des rendements par pieu de 48 kg, la productivité à l'hectare est identique à celle des autres sites de la Baie.

Les Baies de Bretagne Nord sont les bassins mytilicoles les moins productifs avec des performances comparables malgré des pratiques culturelles variées. En Baie de Saint Briec, avec une charge en pieux deux fois supérieure à celle du Mont Saint Michel, la productivité par unité de surface n'est supérieure que de 3% en moyenne. Cette comparaison illustre la notion de productivité du travail : même en tenant compte de pratiques différentes, le nombre d'heures à consacrer à la production de ces 3% supplémentaires avec deux fois plus de pieux est nécessairement plus élevé par tonne produite.

Rendement, densité de pieux et longueur de cordes posées

Le rendement par pieu semble dépendre à la fois de la charge à l'hectare et du nombre de moules posées initialement. Ces deux facteurs vont déterminer la densité finale de moules et la croissance individuelle.

Un mètre de corde posée permet la production de 9 à 13 kg de moules commercialisables sur la plupart des bassins mytilicoles.

Avec les plus forts rendements mesurés, la longueur de cordes posée sur un pieu est logiquement la plus forte en Baie du Mont Saint Michel. Sur ce bassin, l'absence de désépaississement et l'augmentation de la surface d'accroche des moules par la pose d'un grand nombre de catins contribue au maintien d'une densité élevée d'individus sur un pieu. Cette pratique est probablement indissociable à la fois d'une très faible charge d'élevage mais aussi de caractéristiques courantologiques particulières.

Malgré une densité initiale de moule par pieu comparable à Boyard, la faiblesse des rendements confirme l'existence d'une perte très importante : 7 kg de moules commercialisables sont produites pour un mètre de corde posée. Bien qu'identifiées par les producteurs, les facteurs à l'origine de ces pertes restent inexpliqués (prédation et/ou décrochages).

Avec une pratique intensive du boudinage et du désépaississement, la Baie de Vilaine est le bassin qui optimise au mieux son captage. Une part de l'approvisionnement en moules (pelisses de surcaptage et captage naturel) n'est pas prise en compte et contribue à une sous-estimation de la densité initiale: un rendement de 20 kg de moules commercialisables par mètre de corde posée est estimé sur ce bassin. Ce chiffre, certainement surestimé compte tenu de la pression de prédation, reflète malgré tout l'effet des pratiques. La technique d'élevage maintient une charge minimale sur un pieu ce qui pourrait contribuer à la production de moules dont la qualité est reconnue, avec relativement peu de déchets.

6.2.3-c Mont Saint Michel et Vilaine : exemples de stratégies antagonistes

Les stratégies utilisées dans ces deux bassins apparaissent comme antagonistes, car fondées sur des atouts et contraintes différents (les surfaces disponibles en particulier) :

- avec une densité de pieux très faible mais une charge en moules par pieu très élevée en Baie du Mont Saint Michel, c'est l'optimisation du travail qui est visée ;
- avec une densité de pieux très forte mais une charge en moules par unité d'élevage réduite au minimum, les objectifs sont d'optimiser à la fois la surface et le captage en Baie de Vilaine.

6.3 Variabilité spatiale intra-bassin

6.3.1 Disparité des rendements par pieu intra-bassin

L'analyse des performances journalières de pêche d'un producteur du Pertuis Breton illustre la grande variabilité qui existe entre des bouchots localisés au sein d'un même bassin mytilicole. Par rapport à la productivité moyenne d'une année de récolte, les rendements par pieu peuvent fluctuer de +/-50 % voire plus.

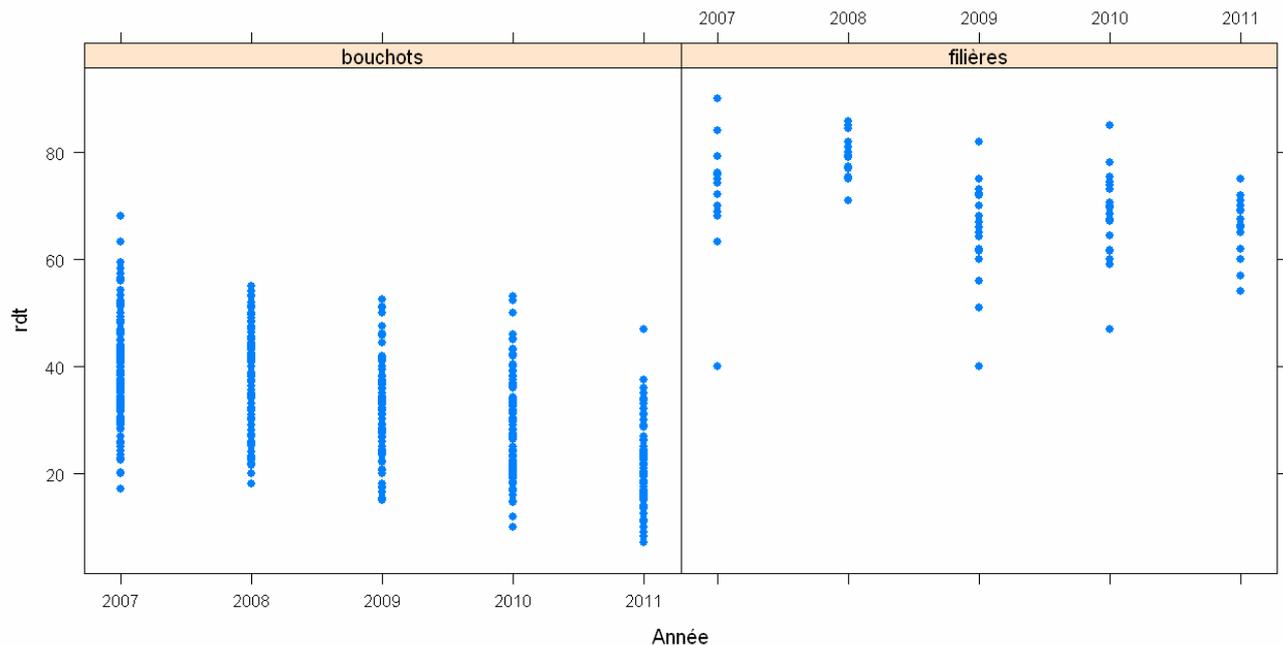


Figure 6.5 : Performances de récolte sur bouchots et filières d'un producteur du Pertuis Breton par année de production (1 point représente un rendement moyen par pieu ou descente pêché une journée donnée – E. You).

La dispersion des rendements s'explique essentiellement par une croissance différentielle des moules amplifiée par les pratiques culturales : les sites les plus poussants sont pêchés les premiers et sont donc également les premiers à être garnis. Sur les sites les moins productifs, un garnissage plus tardif implique un retard de croissance si l'ensemencement est fait à partir de cordes (ce retard peut être compensé si le garnissage est effectué à partir de boudins de moules prégrossies).

Le différentiel de croissance s'explique par plusieurs facteurs liés à la localisation des pieux :

Hauteur sur l'estran : la localisation d'un pieu sur l'estran détermine la durée d'immersion d'une moule. Plus la moule est exondée longtemps, moins elle disposera de temps pour s'alimenter. L'exondation était considérée comme le premier facteur explicatif des différences de croissances individuelles de moules observées sur filières et bouchots dans les Pertuis (Garen et al. (2004)).

Déplétion trophique : cet effet dépend de la localisation par rapport à la source de phytoplancton. La quantité de nourriture disponible sera limitée si un stock important de filtreurs (qu'il s'agisse de moules ou de compétiteurs d'autres espèces) est présent en amont. Pour les pieux situés en haut d'estran, cet effet s'ajoute souvent au facteur exondation.

Source trophique localisée : cet effet a parfois été évoqué dans le cas des sites oligotrophes de Manche Occidentale. En Baie de Saint Briec, la pousse semble meilleure pour les bouchots localisés à proximité de « filières » (ruisseaux courant sur l'estran) malgré de faibles apports d'eau douce.

6.3.2 Disparité des performances de croissance intra-bassin

Le jeu de données professionnelles collectées en Baie de Vilaine permet de quantifier le différentiel de croissance entre les sites d'élevage de 2008 à 2011 (V. Hommery).

Avec des taux de chair moyens de 28%, le remplissage s'avère être excellent dans ce bassin. Il varie cependant de 24 % à 30 % selon les sites. Les effets « zone d'élevage » et « année de récolte » contribuent de manière significative et comparable à la variabilité des remplissages.

Les poids moyens par moule élevés après tri (9,9 g) peuvent refléter les résultats d'une stratégie d'optimisation du captage pratiquée dans ce bassin (faible densité sur un pieu). Selon les relations théoriques élaborées (cf. 6.5-2), moins de 10% du poids total des moules de plus d'un an serait rejeté après calibration. La dispersion liée au site est significative (de 8,5 à 12 g) mais l'essentiel de la variabilité mesurée est expliquée par un effet «année» (de 7,9 à 11,8 g).

La localisation des sites d'élevage de baie de Vilaine est présentée sur la figure 7.12 (cf. Partie 7.3-2). Entre 2008 et 2011, les meilleures croissances sont observées sur les sites de Bel Air et du Lomer. La Baie de Pont-Mahé et la pointe du Bile semblent les zones les moins poussantes. Les remplissages sont également inférieurs à Pont-Mahé et excellents sur les sites de Bel Air et de Kervoyal. Il apparaît une plus forte variabilité sur la zone du Halguen située dans l'estuaire. Les performances d'un site ne semblent cependant pas immuables : en 2012, une inversion des tendances est signalée pour les sites de Kervoyal et de Pont-Mahé. Dans la partie 7.3-2 de ce rapport, l'utilisation des données environnementales permettra d'expliquer certaines des observations réalisées sur la période 2008-2011.

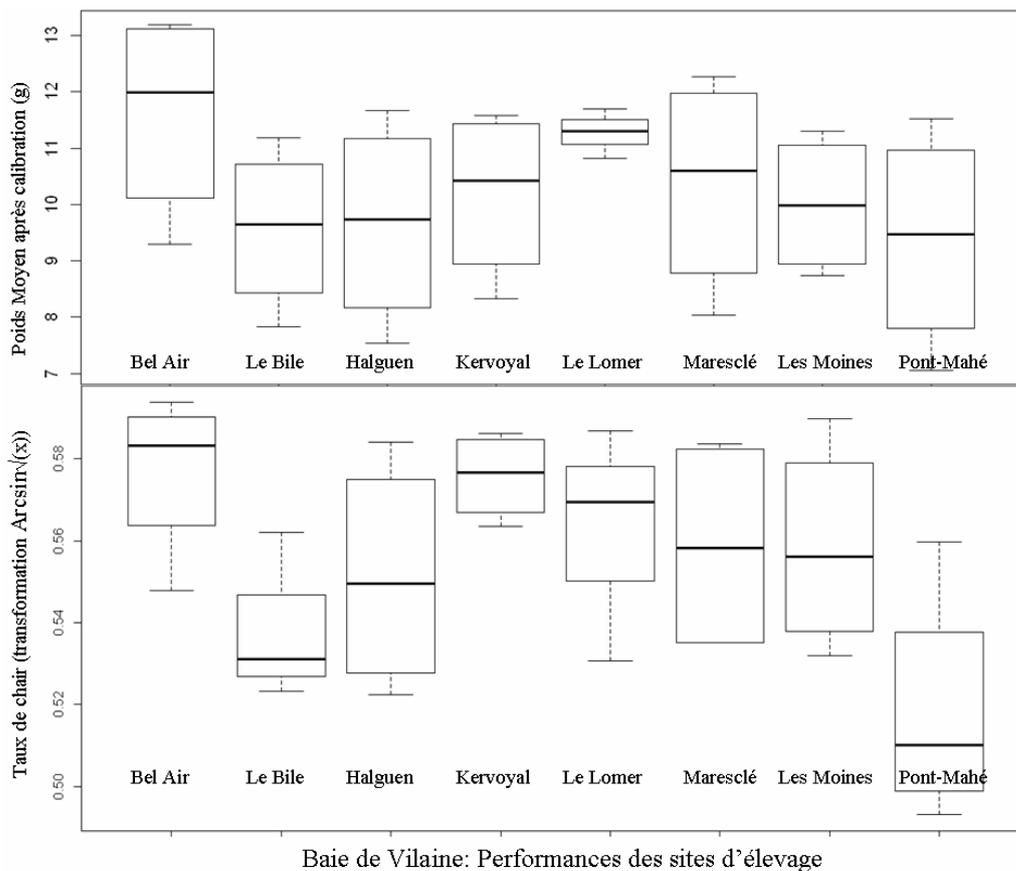


Figure 6.6 : Performances de croissances et taux de remplissages des moules récoltées sur les sites de baie de Vilaine en fonction du site de prélèvement (V. Hommery, jeu de données portant sur 15 entreprises de 2008 à 2011).

6.3.3 Disparités entre entreprises d'un même bassin

En baie du Mont Saint Michel, la répartition des concessions génère des disparités entre producteurs. Les retours d'enquête de 18 entreprises ont permis de quantifier cette variabilité. Les rendements par pieu moyennés sur la période 2005-2011 varient entre 45 et 86 kg pour une moyenne de 60,8 kg. De tels écarts entre producteurs n'ont pas été observés sur les autres bassins d'élevage. Ce jeu de données a fait l'objet d'un traitement à part qui est présenté en Annexe 1.

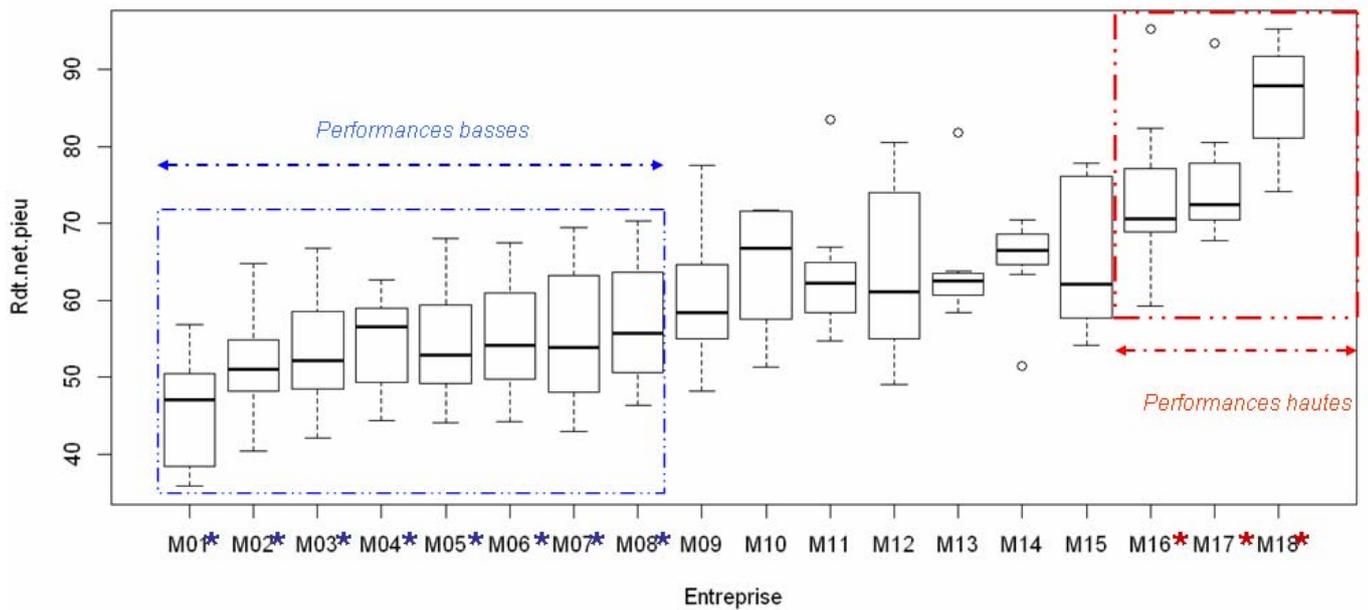


Figure 6.7 : Rendements net (kg) par pieu ensemencé pour 18 entreprises (période 2005 à 2011).
Les performances « hors-normes » sont signalées par une étoile rouge ou bleue ($p < 5\%$).

6.4 Variabilité interannuelle des performances mytilicoles

Il apparaît une évolution quasi-concomitante des performances entre 2007 et 2011 de la Normandie aux Pertuis charentais.

Les retours d'enquête ont permis de quantifier l'évolution des performances mytilicoles entre 2005 et 2011. Pour des raisons liées à la représentativité de l'échantillon, ces chiffres ne reflètent pas nécessairement la situation de tous les producteurs d'un bassin. Les discussions préalables avec les professionnels corroborent néanmoins ces tendances.

6.4.1 Indicateurs choisis et mesure de la variabilité

En supposant des pratiques d'élevage constantes d'une année sur l'autre, les rendements nets par pieu ensemencé constituent un bon indicateur de productivité (cf. 7.1) 2-a). Leur évolution a été étudiée pour mesurer la variabilité interannuelle des performances d'un bassin.

$$\text{Rdt}(a) = \left[\frac{\sum \text{Production}(e) (a)}{\sum \text{Pieux ensemencés}(e) (a-1)} \right]$$

Où :

$\sum \text{Production}(e)$ représente la somme des productions des entreprises du bassin d'élevage l'année (a)
 $\sum \text{Pieux ensemencés}(e)$ représente la somme des pieux ensemencés par les entreprises (e) du bassin d'élevage l'année (a-1).

Dans certains cas de figure (Vilaine, Pertuis), les moyennes des rendements par pieu pêché des entreprises ont du être utilisés.

Sur la figure 6.8 sont présentées les moyennes centrées réduites des rendements par pieu des principaux bassins mytilicoles par année de récolte. La tendance une année donnée est pondérée par l'importance des écarts qui existent sur la période de temps étudiée.

$$\text{Moycr}(\text{Rdt})(a) = (\text{Rdt}(a) - \mu) / \sigma$$

Où :

μ est la moyenne des rendements par pieu entre 2005 et 2011

σ est l'écart-type des rendements par pieu entre 2005 et 2011

La courbe de tendance décrivant l'évolution générale de la productivité a été pondérée par les productions supposées des bassins d'élevage.

Une carte présentant l'évolution des productivités a été dressée en se basant sur le calcul des écarts à la moyenne des rendements (figure 6.9).

$$\text{Productivité}(a) (\%) = (\text{Rdt}(a) - \mu) / \mu$$

6.4.2 Évolution des performances mytilicoles entre 2005 et 2011

L'observation des tendances interannuelle sur la période 2005-2011 démontre le caractère exceptionnel des années 2007, 2008 et 2011 durant lesquelles les anomalies de performances sont à la fois marquées et généralisées. L'intégration des données de production des années 2005 & 2006 est essentielle pour relativiser la baisse prononcée qui est observée entre 2007 et 2011.

Avec une hausse de 16 % de la productivité moyenne, 2007 est une année exceptionnelle. Les rendements restent cependant moyens dans les Baies de Bretagne Nord (Arguenon, Fresnaie et Saint Briuc) voire faibles pour les producteurs exploitant sur les deux Pertuis charentais (PER).

A l'exception de Chausey, la productivité est supérieure ou égale à la norme pour tous les bassins mytilicoles en 2008. La productivité globale augmente de 9 % avec une hausse plus marquée dans les baies de Bretagne Nord précédemment citées.

2009 est une année de productivité moyenne pour une majorité de bassins d'élevage. Des baisses de performances marquées apparaissent à Boyard et en Ouest Cotentin.

En 2010, la productivité est inférieure à la norme dans tous les bassins avec une baisse globale de 8 %. Cette tendance est plus ou moins marquée en fonction des sites avec une diminution plus prononcée en Rade de Brest, Ouest Cotentin et dans le Pertuis Breton. Les performances des producteurs exploitant sur les deux Pertuis (PER) se distinguent encore nettement de la tendance générale.

C'est en 2011 que la baisse de productivité est la plus forte avec une diminution globale proche de 15%. Tous les bassins mytilicoles à l'exception des sites de Boyard et de la Fresnaie sont concernés. Cette baisse semble particulièrement prononcée sur les sites du Pertuis breton, d'Utah et en Rade de Brest.

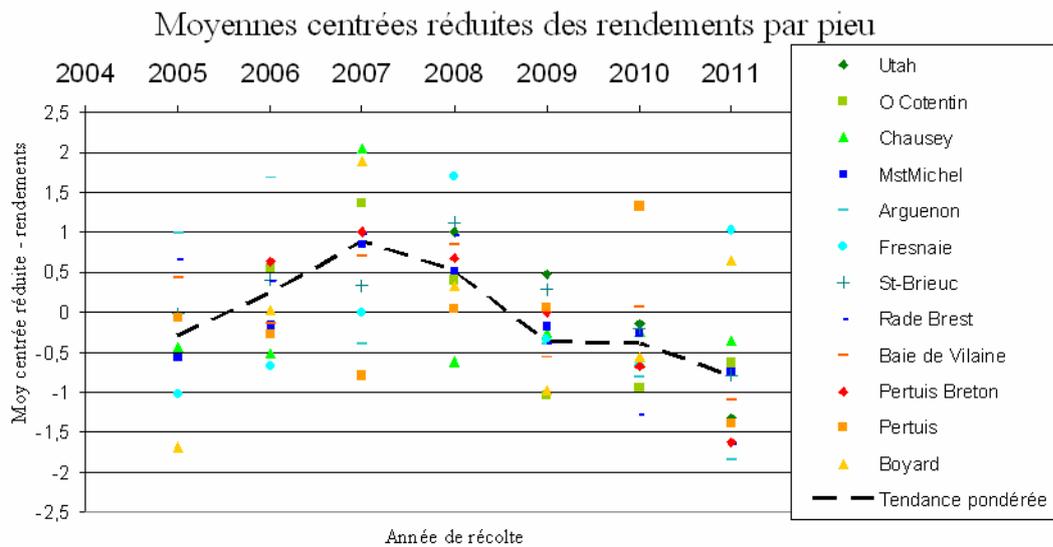


Figure 6.8 : Moyennes centrées réduites des rendements par pieu de 2005 à 2011 dans les principaux bassins mytilicoles des façades Manche/Atlantique.

6.4.3 Localisation et ampleur des anomalies de productivité

La carte d'évolution des productivités permet de visualiser les tendances interannuelles et l'amplitude de la variabilité par bassin mytilicole. Les couleurs tendant vers le vert indiquent une productivité en hausse. Les couleurs du jaune au rouge signalent une baisse par rapport à la moyenne des performances d'un bassin sur la période 2005-2011.

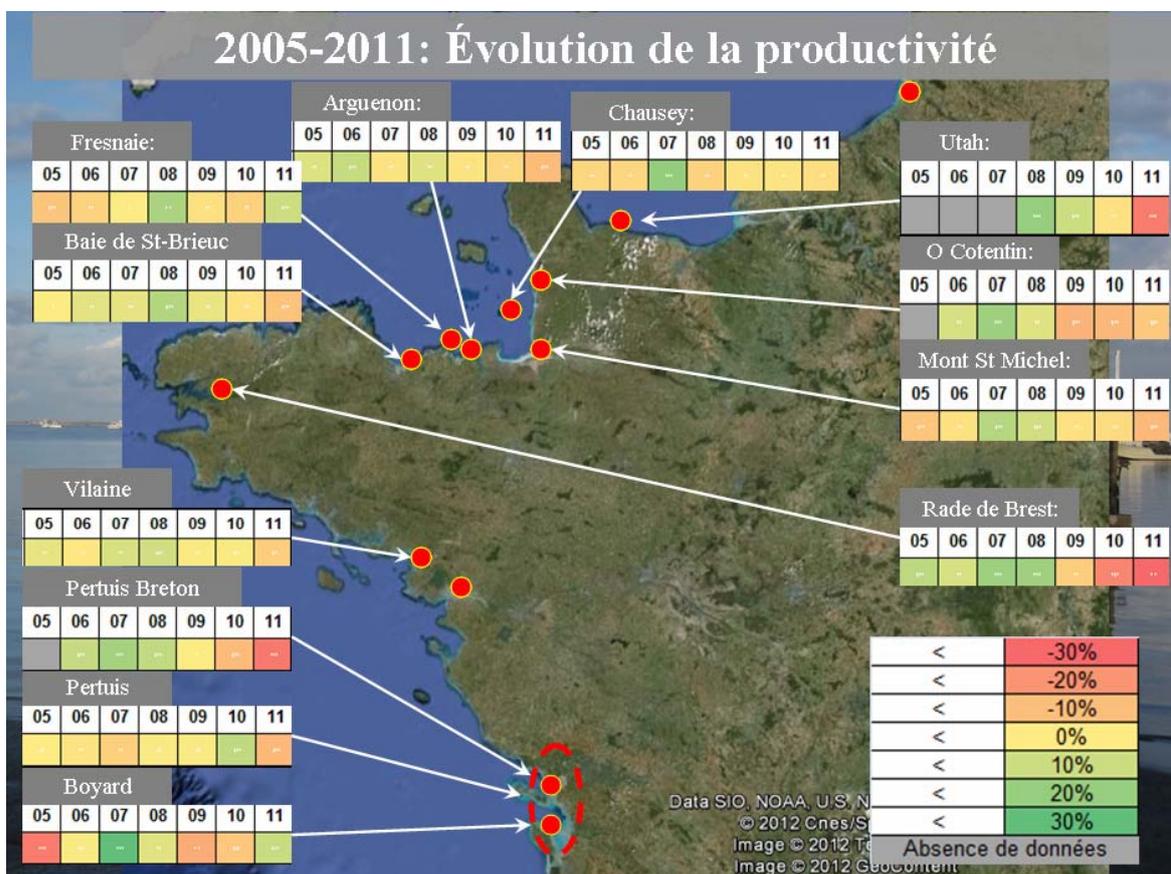


Figure 6.9 : Carte d'évolution de la productivité des bassins mytilicoles des façades Manche/Atlantique (écarts à la moyenne des rendements sur la période de temps étudiée)

Les baisses de performances sont flagrantes et généralisées en 2010 et 2011. L'inventaire des causes expliquant cette tendance est présenté dans la partie 4-4. La rade de Brest ne fait pas partie des bassins qui avaient été prospectés dans le cadre des rencontres. La baisse de productivité semble particulièrement prononcée et pourrait être associée à la fois à certaines des causes conjoncturelles précédemment identifiées mais surtout à une recrudescence de la prédation par les daurades en 2010 et 2011.

A l'exception de la baie de Somme, tous les bassins mytilicoles sont impactés en 2011 et/ou en 2010. Il n'apparaît pas de tendance évolutive associée aux traits cultureux ou environnementaux définis dans la partie 5.

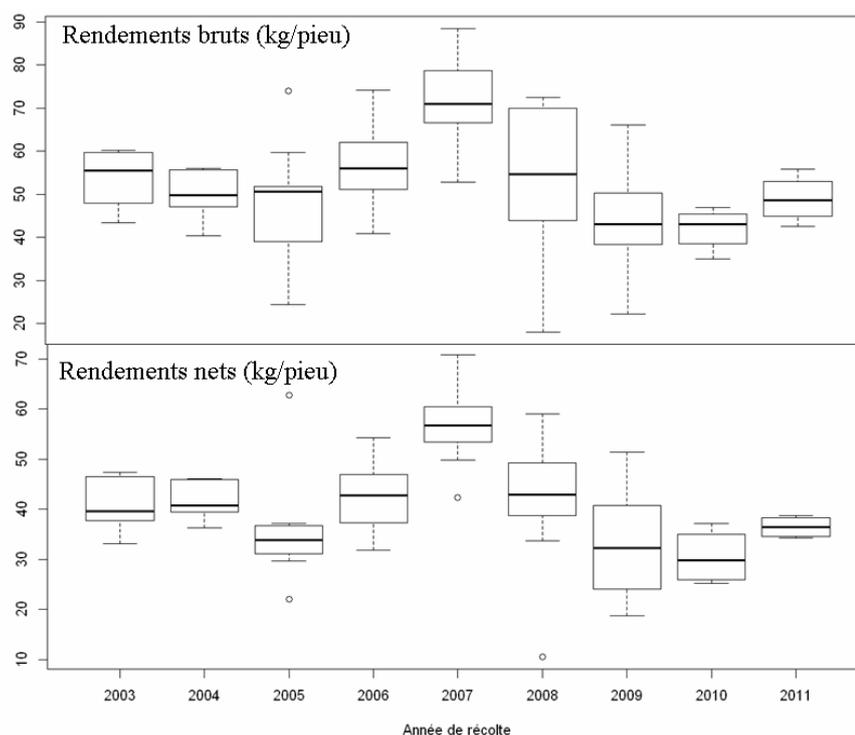
Au sein d'un même bassin d'élevage, l'impact des baisses de productivité est plus ou moins marqué en fonction des sites. Par ailleurs, des modifications dans les tendances inter-sites ont pu être constatées : dans le Pertuis Breton, les bouchots de la pointe de l'Aiguillon, traditionnellement considérés comme le « Margaux » des moules ne fournissent plus un produit à la hauteur de cette réputation. Un mytiliculteur remarque que ces sites étaient les plus productifs de 2006 à 2008 alors que les meilleures performances sont mesurées sur les zones plus océaniques de 2009 à 2011.

6.5 Un déficit de croissance marqué en 2010 et 2011

En Normandie et en Baie de Vilaine, les baisses de productivité des années 2010 et 2011 semblent en grande partie associées à un déficit de croissance.

6.5.1 Évolution des rendements en Normandie

Le suivi sur pieux témoins réalisés par le SMEL en Normandie permet d'évaluer à la fois l'évolution des rendements nets et bruts (Blin J.L.). Pour étudier la période de 2003 à 2011 nous n'avons conservé que les sites ayant été suivis tous les ans : Agon, Hauteville, Pirou et Roquette localisés à Chausey et dans l'Ouest Cotentin. Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau et de graphiques de dispersion (figure 6.10). Dans le tableau des résultats, les étoiles rouges ou bleues signalent des valeurs « hors-normes » ($p < 5\%$), NS désigne une année pour laquelle l'évolution n'est pas significative statistiquement.



Pêche	Poids bruts	Poids nets	Δ brut	Δ net	% déchets	Poids brut	Poids net	% déchets
2003	53,7	40,6	3,5%	1,7%	24,4%	NS	NS	NS
2004	49,8	41,5	-4,0%	3,9%	16,6%	NS	NS	NS
2005	47,8	35,7	-7,8%	-10,7%	25,4%	NS	NS	NS
2006	56,6	42,1	9,0%	5,5%	25,5%	NS	NS	NS
2007	71,7	57,1	38,1%	42,9%	20,3%	**	**	NS
2008	53,4	42,3	2,9%	6,0%	20,7%	NS	NS	NS
2009	43,1	33,2	-16,9%	-16,8%	22,9%	*	NS	NS
2010	42,0	30,5	-19,1%	-23,8%	27,5%	*	*	NS
2011	48,9	36,5	-5,7%	-8,7%	25,5%	NS	NS	NS

Figure 6.10 : Boîte de dispersion des rendements bruts et nets en fonction de l'année de pêche pour les pieux témoins suivis entre 2003 et 2011 par le SMEL dans le cadre du réseau Remoulnor

Ces résultats sont en adéquation avec l'évolution des rendements professionnels présentés sur la carte des performances (Figure 6.9). L'augmentation de la productivité est beaucoup plus prononcée en 2007 sur les pieux témoins (+40%). Les rendements bruts et nets sont significativement différents en 2007 et 2010 qui sont les deux années extrêmes. En 2009, ce sont surtout les rendements bruts qui semblent subir une diminution significative. Cette évolution se répercute sur le rendement net. Les taux de déchets produits ne semblent pas significativement différents d'une année sur l'autre. On observe néanmoins une augmentation marquée en 2010. A l'inverse, en 2004, 2007 et 2008, la production de déchets est la plus faible. Malgré des rendements bruts très variables en 2008, une bonne optimisation du rendement après tri semble indiquer une bonne croissance des moules.

6.5.2 Explication des baisses de rendement en Normandie

En Normandie, les baisses de productivité sont essentiellement liées à une diminution de croissance en 2010 et 2011 mais aussi à des pertes de moules en 2010 et surtout en 2009.

6.5.2-a Méthode d'évaluation de l'impact de la croissance individuelle et des densités finales sur l'évolution des rendements

Relation théorique entre production de déchets et poids moyen après tri : conséquences sur l'évolution des rendements

Sur la figure 6.1 était présenté l'effet d'une baisse de croissance individuelle des moules d'un pieu sur l'évolution du ratio d'individus sélectionnés par le tri.

A partir des mesures terrains réalisées en 2003 en baie du Mont Saint Michel, Y. Thomas (2004) évalue une relation permettant d'estimer la dispersion des poids en fonction du poids moyen des moules. En utilisant cette équation, ainsi que la loi allométrique établie par Mazurié en baie de Vilaine (2001), il est possible d'estimer la quantité de déchets produits en connaissant uniquement le poids moyen des moules après calibration.

Relation théorique entre les poids moyens après tri et la production de déchets (Mazurié, 2001 & Thomas, 2004)

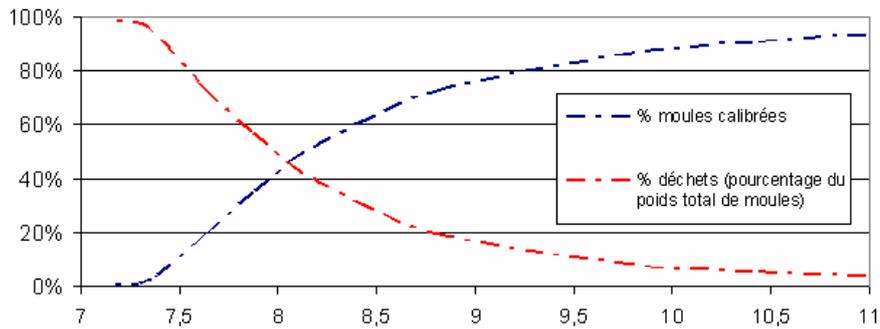


Figure 6.11 : Relation théorique entre le poids moyen des moules triées et la quantité de déchets produites après calibration. (Mazurié, 2001 & Thomas, 2004).

Bien que basée sur des équations théoriques, cette relation a le mérite de démontrer la sensibilité de la productivité à la croissance des individus. Un poids moyen après tri de 10 g (100 moules/kg) indique que les déchets représente 8 % de la biomasse pour 13% des individus. Avec un poids moyen de 8 g (125 moules/kg), la part des déchets augmente considérablement et représente 46 % du poids pour 54 % des moules.

Calcul de l'évolution théorique des rendements bruts et nets

La relation établie précédemment permet d'évaluer, pour un pieu dont la densité finale serait connue et constante l'évolution des rendements nets et bruts en fonction de la croissance des moules mesurée après calibration.

Relations théoriques entre les rendements bruts et nets d'un pieu de 5 000 moules en fonction de la taille après calibration (exprimées en kg)

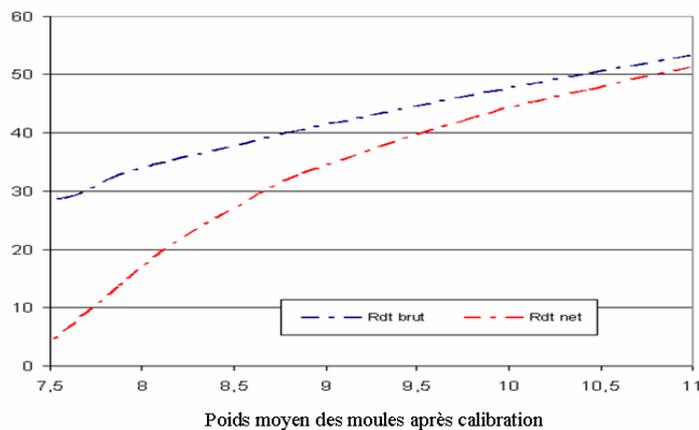


Figure 6.12 : Relations théoriques entre les rendements bruts et nets d'un pieu de 5 000 moules en fonction de la taille mesurée après calibration (en grammes). Les rendements sont exprimés en kilogrammes (gauche) et en pourcentage rapporté à la moyenne (droite).

Utilisation de ces relations dans l'évaluation des effets « croissances » et « pertes » à partir des données de rendements bruts et nets

Il est possible en partant de ces relations théoriques de distinguer les effets de la croissance et de la densité finale sur l'évolution des rendements. En partant de l'hypothèse d'un nombre de moules par pieu égal d'une année à l'autre, la connaissance de l'évolution interannuelle des rendements nets permet de calculer le rendement brut résultant si la croissance explique à elle seule les évolutions constatées.

L'analyse de la déviation entre les rendements bruts calculés et mesurés permet de quantifier la contribution de la densité finale à l'évolution des rendements.

6.5.2-b Application aux données de rendements des pieux témoins suivis dans le cadre du réseau normand Remoulnor (Blin J.L.)

Sur la figure 6.13 sont représentés les écarts à la moyenne interannuelle mesurés une année donnée sur les pieux témoins du réseau Remoulnor. Les effets « croissance » semblent dominer dans l'explication de la variabilité des croissances. Cette estimation peut être réalisée de manière intuitive en suivant le raisonnement suivant :

Si la production de déchets est faible

- les rendements nets sont faibles = un déficit de moules est en cause,
- les rendements nets sont forts = la croissance des moules est en cause.

Si la production de déchets est forte

- les rendements nets sont faibles = la croissance des moules est en cause,
- les rendements nets sont forts = un excédent de moules est en cause.

Si la production de déchets est moyenne

l'effectif peut expliquer les variations de rendements.

Normandie: Contribution théorique des effets de la croissance et du nombre de moules sur l'évolution des rendements nets (pieux témoins du suivi REMOULNOR, Blin, 2011)

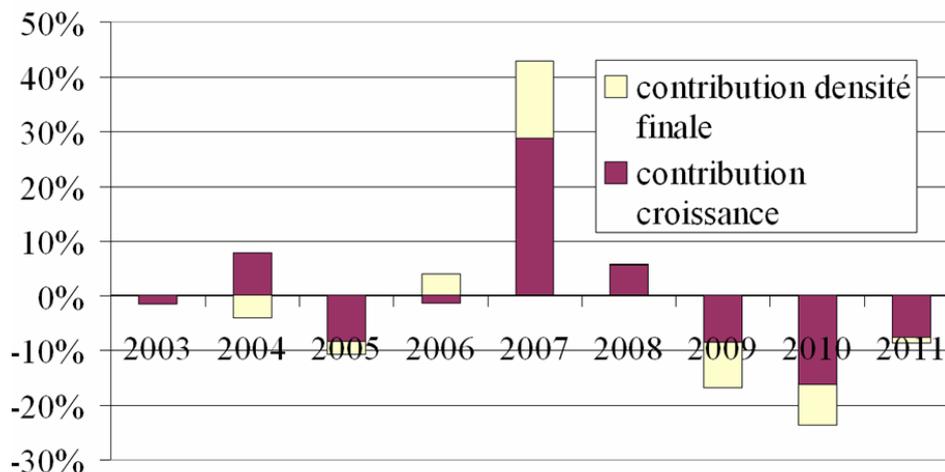


Figure 6.13 : Contribution de la croissance individuelle et de la densité finale des moules à l'évolution des rendements des pieux témoins suivis par le SMEL de 2003 à 2011.

Les excellents rendements de 2007 sont expliqués à la fois par un grand nombre d'individus par pieu mais surtout par une croissance exceptionnelle.

La forte baisse de productivité enregistrée en 2009 s'explique de manière égale par une baisse de croissance et par des pertes de moules. Il peut s'agir d'un déficit de captage initial, de décrochages, de mortalités ou d'une recrudescence des prédatations.

La densité finale de moules participe dans une moindre mesure à la forte baisse des rendements mesurée en 2010. Elle ne contribue qu'à un tiers de cette évolution, celle-ci étant majoritairement liée à une diminution de la croissance individuelle.

La baisse moins marquée en 2011 est presque entièrement liée à des problèmes de croissance.

6.5.3 Croissance des moules en Baie de Vilaine

Une baisse de croissance très marquée apparaît en 2010 et 2011 en baie de Vilaine.

Le jeu de données professionnelles collectées en Baie de Vilaine utilisé précédemment permet de quantifier le différentiel de croissance des années de récolte 2008 à 2011 (V. Hommery).

Les poids moyens après tri et les taux de remplissage sont significativement différents d'une année sur l'autre. L'essentiel de la variabilité des poids de moule mesurés est expliqué par des effets « année ».

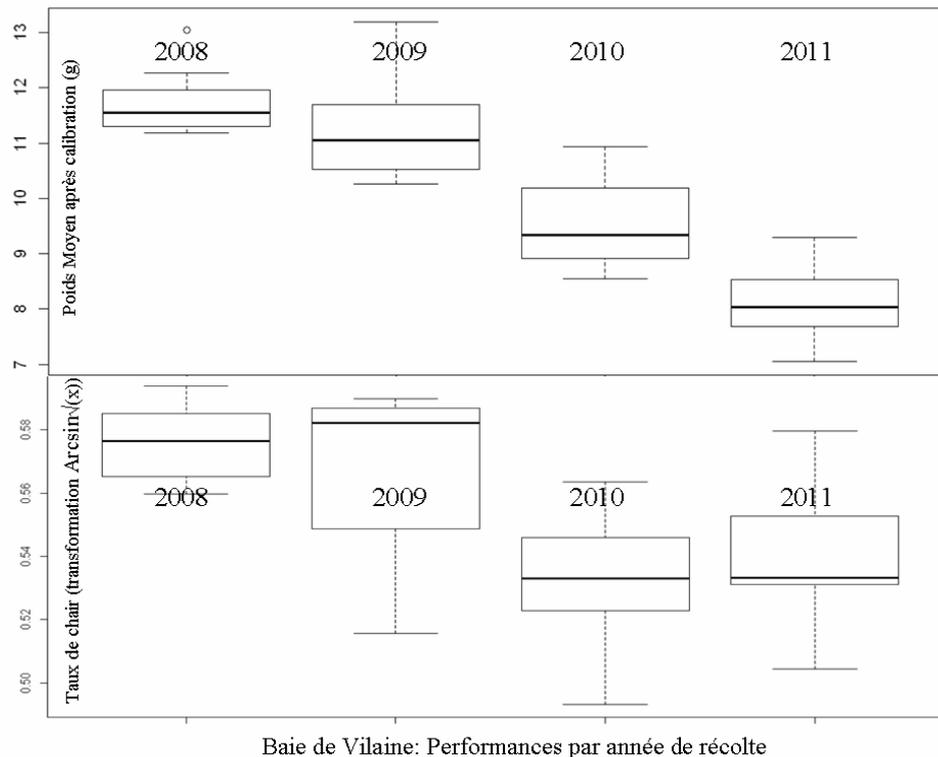


Figure 6.14 : Performances de croissances et taux de remplissages des moules récoltées sur les sites de Baie de Vilaine en fonction de l'année de récolte (V. Hommery, jeu de données portant sur 15 entreprises).

La diminution de croissance est très nette entre 2009 et 2010. Elle se poursuit voire s'accroît en ce qui concerne les poids moyens après tri en 2011. L'impact sur la productivité doit être beaucoup plus marqué cette dernière année : d'après les poids moyens mesurés après tri, il est possible de supposer une production de déchets en nette augmentation en 2011 ce qui se répercutera sur les rendements nets par pieu. Avec 7,9 g en moyenne cette année, les déchets pourraient représenter près de la moitié de la biomasse produite.

Malgré une baisse marquée des remplissages en 2010 et 2011, ceux-ci restent acceptables comparés aux résultats mesurés dans d'autres bassins (en moyenne 26 %). Les performances de croissance sont globalement très bonnes en 2008 et 2009 avec des remplissages de 29-30% et des poids moyens après tri supérieurs à 11 g. Mais la variabilité entre les sites est beaucoup plus marquée en 2009 qu'elle ne l'était l'année précédente.

7. Effets d'un déficit trophique sur la croissance des moules

Un manque de nourriture est à l'origine d'une baisse de croissance des moules en 2010 et 2011. Ce déficit de croissance explique en grande partie les baisses de productivité relevées ces mêmes années.

7.1 Caractérisation environnementale des années 2007 à 2011

7.1.1 Analyse multifactorielle (ACP) des données issues du réseau REPHY

Les données collectées dans le cadre du réseau REPHY ont été utilisées pour décrire les caractéristiques des années de production mytilicoles. 14 années ayant été étudiées, seuls 10 points de prélèvements décrivant 5 bassins d'élevage ont été retenus pour les traitements (Figure 7.1).

Les paramètres étudiés sont la Salinité (PSU : Practical Salinity Unit), la Température (°C), la concentration en Chlorophylle A ($\mu\text{g/l}$) et la Turbidité (NTU). Pour faciliter les traitements, les données de chlorophylle et turbidité sont transformées en utilisant une fonction logarithme népérien ($\text{LN}(X+1)$). Un total de 8 000 données est analysé. Des variables qualitatives décrivant les années, les sites, les saisons ainsi qu'une interaction année^saison ont été ajoutées.

A noter que le traitement interannuel de ces données nécessite de prendre en compte de possibles artefacts liés à des changements de méthodes ou de sites :

- au moment de la mise en place de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), la localisation de certains sites a été modifiée (Mont Saint Michel, Arguenon, Noirmoutier) à partir de 2007 ;
- des modifications des protocoles de mesures pour la turbidité (2000) et la chlorophylle (2010) ;
- des modifications de profondeur de prélèvement à partir de 2007.

Par ailleurs, certaines années n'ont pas pu être retenues dans l'analyse (absence de données) : c'est le cas de 2000 et 2009 en Bretagne Nord. Les valeurs de cette dernière année peuvent être déformés par un effet « site » et n'ont donc pas été représentées sur les graphiques d'ACP.

Bassins d'élevage	Abréviation	Point de suivi REPHY	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Baie du Mont St-Michel	MSM	Cancale nord (b)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	MSM	Champeaux	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	MSM	Mont St-Michel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Baie de l'Arguenon	ARG	les Hébihens	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ARG	St Cast	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Noirmoutier	NO	Bois de la Chaise (a)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	NO	Bois de la Chaise large	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pertuis Breton	AIG	L'Eperon (terre)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pertuis Antioche	BO	Boyard	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	YV	Le Cornard	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Absence de données ou année incomplète

Figure 7.1 : Liste des points REPHY et des années de suivi utilisés pour établir une caractérisation environnementale des années de production.

Les deux axes principaux de l'ACP expriment 71 % de la variabilité du jeu de données.

L'axe 1 représente à la fois les **influences estuariennes** et une **saisonnalité**: les valeurs positives indiquent une faible salinité ($R^2 = -0,7$), une forte turbidité ($R^2 = 0,7$), et surtout des températures froides ($R^2 = -0,8$) décrivant des caractéristiques hivernales et estuariennes.

L'axe 2 peut être qualifié d'**axe trophique** : il est très bien corrélé avec la concentration en chlorophylle ($R^2 = 0,9$) et dans une moindre mesure avec la turbidité ($R^2 = 0,5$) et la température ($R^2 = 0,4$).

La **saisonnalité** s'exprime donc en fonction de ces deux axes, la variable température discriminant le mieux les saisons.

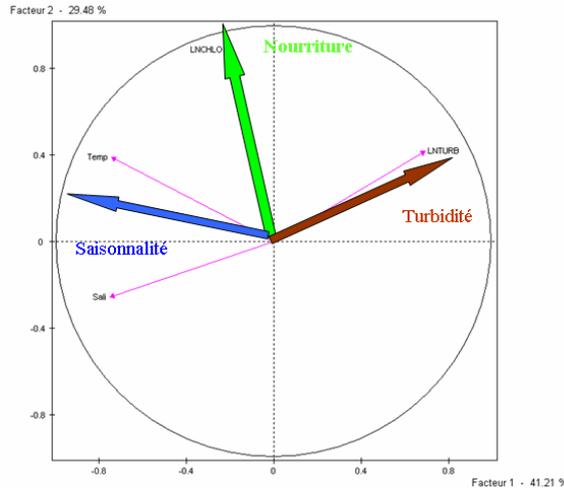


Figure 7.2 : Cercle des corrélations de l'ACP des données issues du réseau REPHY : projection des 4 variables utilisées et représentation des influences estuariennes, de l'abondance en nourriture et de la saisonnalité.

7.1.2 Caractéristiques environnementales des années de production mytilicoles

Le nuage de points projeté sur les deux axes principaux est habillé en utilisant l'interaction « site^saison ». **Les caractéristiques saisonnières d'une année de production peuvent être définies selon l'importance des influences estuariennes et la disponibilité en nourriture (Figure 7.3).**

Un cycle de production est décrit de la manière suivante :

Les années correspondent aux années de production. Le raisonnement porte sur une «année moule » et non pas une année civile. De cette manière sont décrites les conditions environnementales qu'ont rencontrées les moules récoltées l'année « N ». Automne 2008 par exemple désigne en réalité l'automne 2007 (dont l'influence s'est faite sentir sur la production 2008).

Été N-1 correspond à l'été où les cordes sont posées. Pour une année de production N, il s'agit de l'été qui précède (N-1). Cette période englobe les mesures du REPHY de juillet à septembre inclus.

Automne correspond à l'automne de l'année qui précède la récolte (N-1). C'est une période de prégrossissement des moules qui sont en général déjà en place sur les pieux. Les mesures du REPHY d'octobre à décembre inclus décrivent cette saison.

Hiver est l'hiver de l'année de récolte (N) regroupant les données de janvier à mars inclus.

Printemps désigne le printemps de l'année (N) qui précède la récolte. Le grossissement des moules y est très important. Cette saison regroupe les données d'avril à juin inclus.

Été N est l'été durant lequel une partie de la récolte a lieu (N).

Les données de la figure 7.3 présentent les caractéristiques estuariennes et trophiques d'une saison pour une année de production (seul l'été 1 est représenté).

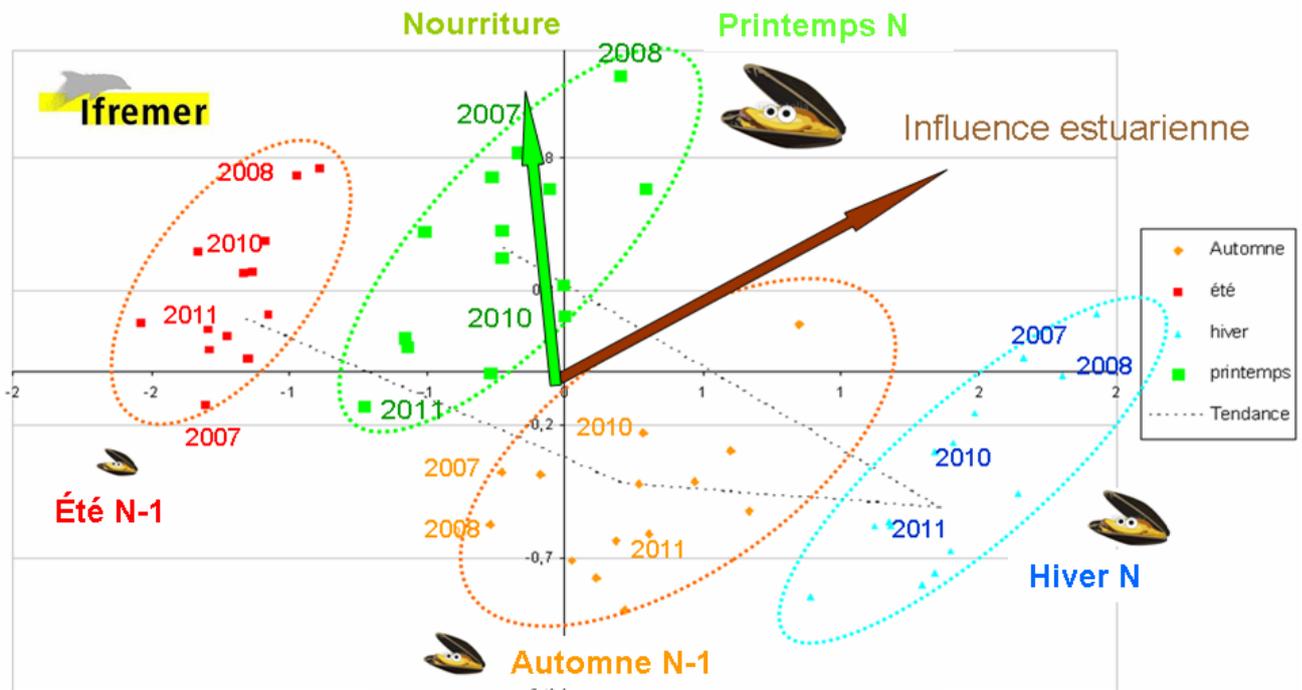


Figure 7.3 : ACP sur les données tirées du réseau REPHY. Variabilité interannuelle des caractéristiques environnementales sur 14 années pour 10 points REPHY décrivant 5 bassins d'élevage. Les années correspondent aux années de production.

- 2007 & 2008 se distinguent par des influences estuariennes marquées en hiver (dessalures et/ou turbidité) et une concentration en chlorophylle très forte au printemps (ce sont les deux années les plus riches).
- 2010 présente des influences estuariennes standards en hiver et une concentration en chlorophylle au printemps plus faible que la normale
- 2011 présente des influences estuariennes moins marquées que la normale en hiver. C'est l'année où la concentration en chlorophylle est la plus faible au printemps.

Sur la figure 7.4, l'ensemble du parcours environnemental d'une moule de la pose des cordes (Été N-1) à la pêche (Été 2) est représenté pour les quatre années où des anomalies de performances sont constatées (2007, 2008, 2010, 2011).

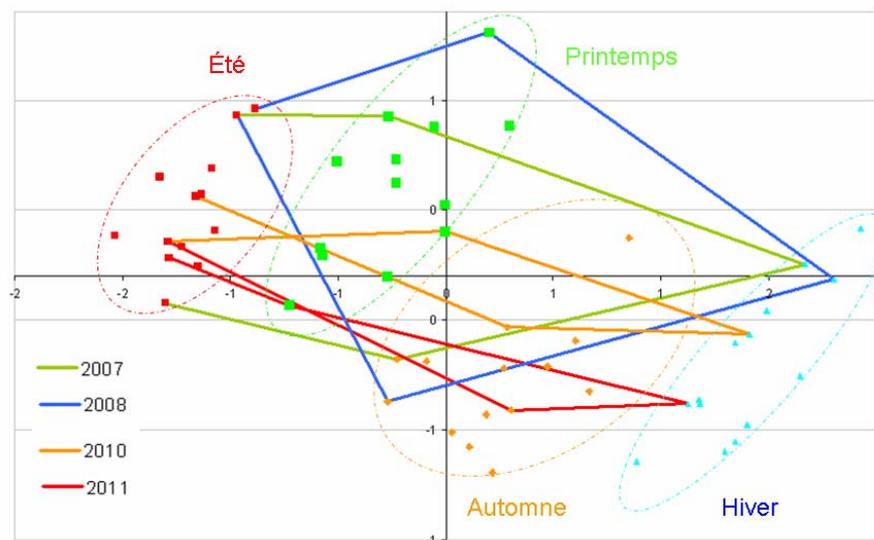


Figure 7.4 : ACP sur les données tirées du réseau REPHY. Parcours environnementaux des moules pêchés en 2007, 2008, 2010 et 2011 de la pose des cordes à la récolte.

En plus de printemps exceptionnels, il apparaît que les étés 2007 et 2008 sont également très productifs. Les moules étant pêchés à partir de cette saison et jusqu'à l'hiver peuvent profiter de ces conditions très favorables. En 2010 et 2011, au contraire, les étés sont plutôt pauvres. La surface d'un parcours environnemental illustre l'importance des écarts entre les saisons. La pauvreté trophique des printemps et été 2011 est si marquée que le parcours présente une allure linéaire. Ces quatre années de production mytilicoles atypiques se distinguent par des caractéristiques trophiques marquées par rapport à la tendance mesurée sur 14 années ce qui suggère une piste environnementale dans l'explication de cette variabilité.

Dans la partie 6.5, les baisses de production mytilicoles semblaient en grande partie liées à une diminution de la croissance des moules. Les caractéristiques trophiques défavorables les printemps et étés 2010 et surtout 2011 expliquent probablement cette tendance. Dans la suite, cette hypothèse sera étayée par les données professionnelles collectées.

7.2 Effets environnementaux sur les performances d'élevage

7.2.1 Choix des données et méthodes d'analyse

7.2.1-a Données utilisées

Données environnementales

Les sites REPHY et les périodes d'échantillonnage ont été sélectionnés selon trois critères :

- un critère spatial : le site sélectionné est le plus proche possible de la zone de production ;
- un critère temporel : une année est sélectionnée si les échantillonnages couvrent une période minimale de 11 mois ;
- un critère à la fois spatial et temporel : dans le cas des sites ayant été changés au moment du passage à la DCE, nous n'avons pas conservé les données mesurées avant la modification afin de ne pas induire un biais (Cas des bassins de Bretagne Nord).

De la même façon que précédemment, les années correspondent aux périodes de récolte. 5 saisons sont identifiées (Été (N-1), Automne (N-1), Hiver N, Printemps N, Été N). Pour tenir compte de l'existence d'efflorescences précoces en mars sur les sites d'Ouest Cotentin ou des Pertuis, le printemps couvre les mois de mars à juin inclus. Au total, 8 300 données environnementales sont utilisées pour décrire les bassins et les années de production.

Données sur les performances mytilicoles

Les données de productivité à l'hectare sont utilisées comme indicateur des performances d'un bassin d'élevage. Certaines années n'étant pas décrites par les réseaux environnementaux, 55 données de productivité sont conservées (interaction site^année). Les données sur les pratiques culturales ont été insérées pour décrire un bassin d'élevage (1 valeur par bassin).

Bassins d'élevage	Abréviation	Point de suivi REPHY	Données REPHY							Données performances (enquête)						
			05	06	07	08	09	10	11	05	06	07	08	09	10	11
Ouest Cotentin	OC	Donville														
Chausey	CHAU	Chausey														
Baie du mont St-Michel	MSM	Champeaux														
	MSM	Mont St Michel														
Baie de l'Arguenon	ARG	les Hébihens														
Baie de St-Erieuc	BSB	Saint-Quay														
Baie de Vilaine	EVIL	Ouest Loscolo														
Pertuis Breton	MAR	La Carrelère														
	AIG	L'Eperon (terre)														
Pertuis	AIX	Ile d'Aix														
	YV	Le Cornard														
Boyard	BO	Boyard														

 Absence de données ou année incomplète

Figure 7.5 : Liste des points REPHY, des bassins d'élevage et années de suivi utilisés pour établir une caractérisation environnementale des performances mytilicoles.

7.2) 1-b Corrélations entre variables quantitatives explicatives

Les variables explicatives utilisées sont au nombre de sept :

- 3 variables décrivant les pratiques culturelles (densité de pieux par hectare, longueur de cordes par pieu et longueur de cordes posées par hectare).
- 4 variables environnementales (température, salinité, LN (chlorophylle+1), LN (turbidité+1)).

Parmi les variables descriptives des sites d'élevage, il aurait fallu insérer un coefficient moyen d'exondation, un paramètre pouvant être déterminant dans la croissance des moules. Cette variable étant difficile à calculer, elle n'a pas pu être insérée dans l'analyse.

La construction d'une matrice de corrélations montre que ces variables sont corrélées entre elles ce qui peut gêner l'interprétation du jeu de données. Bien que certaines corrélations apparaissent entre variables culturelles et environnementales, nous avons considéré que ces paramètres étaient indépendants (il apparaît notamment que la densité de pieux est plus forte sur les sites où le phytoplancton est abondant).

7.2) 1-c Élaboration de variables environnementales synthétiques non corrélées entre elles

De manière à travailler avec des variables non corrélées entre elles, une ACP a été construite en utilisant les données environnementales du réseau REPHY. Les deux premiers axes correspondent aux influences estuariennes (Axe I) et trophiques (Axe II) (cf. 7.1) 1). Ils décrivent à eux deux 75% de la variabilité du jeu de données.

L'axe III, expliquant 15 % de la variabilité présente la particularité d'être corrélé négativement à la turbidité et à la salinité. Par rapport à l'axe I qui décrit l'importance des influences estuariennes, il apporte un niveau d'information supplémentaire :

- les sites estuariens ou intermédiaires dessalés mais avec une turbidité limitée présentent des valeurs positives sur cet axe (caractère dessalé dominant sur le caractère turbide) ;
- les sites océaniques peu dessalés et peu turbides présentent des valeurs médianes (peu d'influences estuariennes) ;

- les sites estuariens ou intermédiaires très turbides présentent des valeurs négatives (caractère turbide dominant).

Cet axe, non corrélé à la température, décrit surtout des caractéristiques propres aux bassins d'élevage.

Les valeurs des interactions site^année et site^année^saison projetées sur ces quatre axes seront par la suite utilisées comme variables environnementales descriptives.

Corrélations des variables actives
avec les facteurs

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
temp	-0,68	0,59	0,02	0,43
sal	-0,83	-0,07	-0,48	-0,29
Inturb	0,69	0,43	-0,57	0,11
Inchloa	0,05	0,90	0,22	-0,36
% variabilité du jeu de données	41%	34%	15%	10%

Figure 7.6 : Matrice des corrélations entre les axes de l'ACP et les variables environnementales utilisées pour leur élaboration.

7.2.1-d Variables intervenant dans l'explication des performances mytilicoles

Les performances par hectare sont étudiées en utilisant les valeurs des variables culturelles et environnementales comme paramètres explicatifs.

Seules 55 données de performances sont disponibles (interaction site^année) pour 4 (interaction site^année) ou 20 variables environnementales (interactions site^année^saison) et 3 variables culturelles.

La méthode de recherche des régressions optimales sous SPAD teste l'ensemble des combinaisons de variables explicatives.

Le meilleur modèle choisi ($R^2 = 0,75$) évalue la productivité à l'hectare en fonction de :

- la densité de pieux ensemencés,
- les valeurs projetées du printemps sur l'axe trophique (Axe 2),
- les valeurs projetées de l'été de récolte sur l'axe définissant le caractère turbide d'un site sous influence estuarienne (Axe 3).

La réalisation de régressions multiples sur les variables environnementales non transformées permet de préciser cette relation. Il apparaît que la concentration en chlorophylle, la turbidité et des interactions turbidité^saison ont un impact significatif sur l'évolution des performances mytilicoles.

Une nourriture abondante au printemps et une turbidité limitée en été semblent déterminer une productivité élevée sur la période 2005-2011.

7.2.2 Des performances mytilicoles limitées par la disponibilité en nourriture ou la turbidité

La situation d'un bassin d'élevage une année donnée est projetée selon son positionnement par rapport à l'axe 3 en été (ordonnée) et l'axe 2 au printemps (abscisse).

Trois situations apparaissent :

- un groupe océanique (en bleu) avec une productivité printanière faible et des influences estuariennes faibles en été ;

- un groupe estuarien (en marron) avec une productivité printanière élevée et une turbidité en été forte ;
- un groupe sous influence estuarienne (en vert) avec une productivité printanière élevée mais une turbidité en été moins marquée.

Caractéristiques environnementales et performances mytilicoles

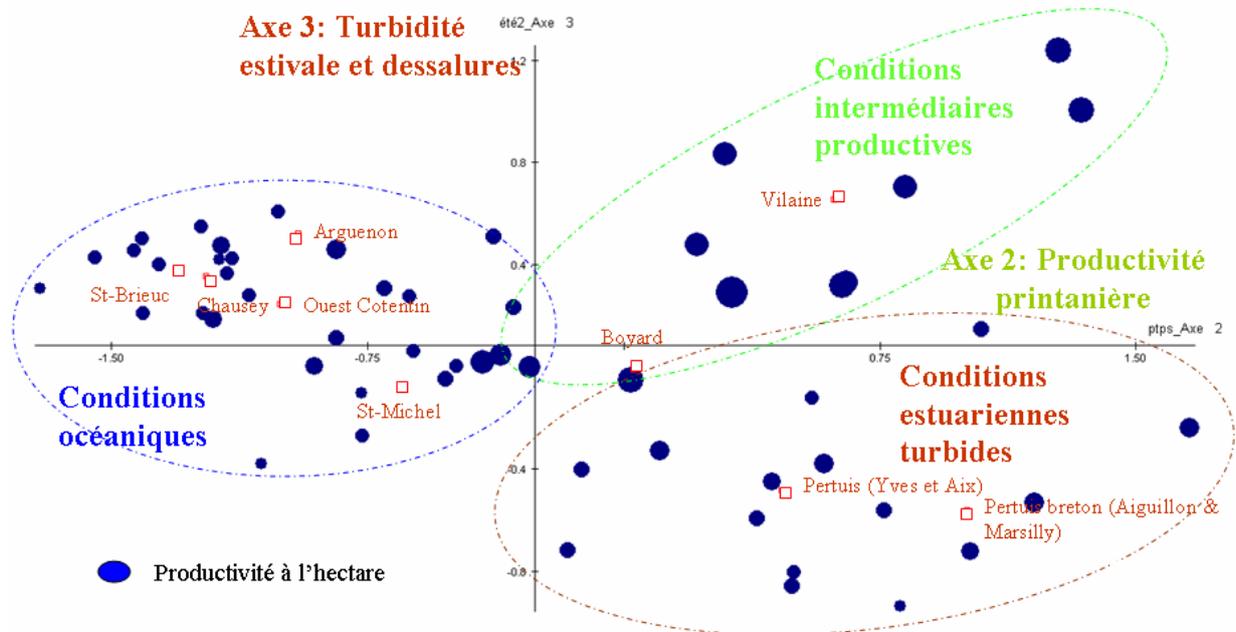


Figure 7.7 : Projection de l'interaction site^année de récolte selon les axes II (printemps) et III (été) définis dans l'ACP des variables environnementales. La taille des points est proportionnelle à la productivité par unité de surface.

L'habillage des points par la productivité à l'hectare d'un site une année donnée permet d'identifier les situations les plus favorables.

Les deux sites les plus performants, Boyard et Vilaine, se distinguent par leur productivité printanière et les influences estuariennes estivales :

- sur le point d'Ouest Loscolo décrivant la baie de Vilaine dans cette analyse, les influences estuariennes estivales se caractérisent surtout par des dessalures marquées mais une turbidité limitée par rapport à d'autres sites ;
- pour le point de Boyard, les caractéristiques estivales sont plus océaniques avec des dessalures moins marquées qu'en Vilaine mais un niveau équivalent de turbidité. La productivité au printemps est plus élevée que sur les sites océaniques, mais c'est surtout en été que le phytoplancton est le plus abondant.

Les bassins mytilicoles qui avaient été définis comme océaniques dans la partie 5.1-3 sont en général les moins productifs par unité de surface. Les valeurs négatives sur l'axe trophique décrivent une abondance phytoplanctonique printanière inférieure à la norme. Bien que présentant des caractéristiques estuariennes plus marquées (notamment la turbidité), la Baie du Mont Saint Michel appartient également à ce groupe. **La productivité de ces sites mytilicoles est limitée par la disponibilité en nourriture.**

Pour les sites des Pertuis définis comme estuariens sur la figure 7.7, la nourriture n'est pas limitante. En effet, les valeurs sur l'axe trophique sont supérieures ou équivalentes à celles de Boyard ou de Baie de Vilaine avec une densité d'élevage plus faible. Pourtant, la productivité des sites mytilicoles y est inférieure. Ces deux groupes se distinguent par leurs caractéristiques estuariennes estivales en particulier

leur turbidité qui y est beaucoup plus élevée. **La productivité de ces sites mytilicoles semble être affectée par un niveau de turbidité trop élevée. Nous parlerons dans ce cas de « stress turbide ».**

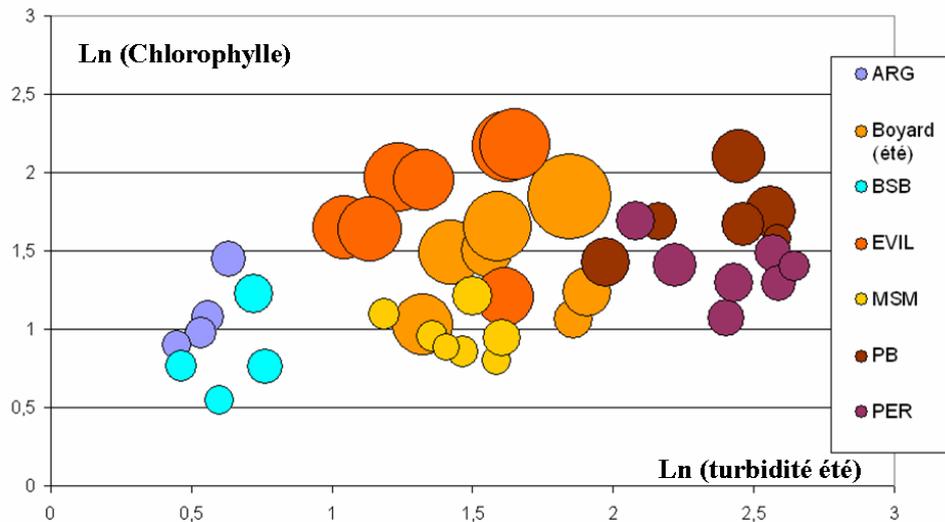


Figure 7.8 : Représentation de la productivité d'un site mytilicole une année donnée selon les axes turbidité estivale et concentration en chlorophylle (au printemps et en été pour Boyard). La taille des points est proportionnelle à la productivité par unité de surface.

Arifin et Bendell-Young (2001) étudient les stratégies de filtration de *Mytilus trossulus* en fonction de la disponibilité et de la qualité de la matière en suspension. Une grande flexibilité apparaît :

- en situation oligotrophe et peu turbide caractérisant les sites océaniques, la stratégie d'alimentation peut être non sélective (toutes les molécules sont ingérées, la sélection ayant lieu après ingestion) ;
- si les matières en suspension sont abondantes, l'ingestion devient sélective. Un grand nombre de particules non organiques sont rejetées sous la forme de pseudo-fécès avant d'être ingérées (pré-sélection avant ingestion).

Dans les expériences de Arifin et Bendell-Young, le coût métabolique d'une stratégie pré-sélective semblait équivalent à celui d'une stratégie non sélective ce qui permet aux moules de s'adapter à des environnements multiples. Cependant, pour l'assimilation d'une même quantité de nourriture, les coûts métaboliques seront plus élevés sur les sites océaniques ou estuariens turbides :

- sur les sites oligotrophes, la nourriture étant rare, l'effort portera sur la filtration (stratégie non sélective) ;
- sur des sites très turbides, un effort important de pré-sélection entraîne une dépense énergétique supplémentaire pouvant expliquer une productivité moindre même si la nourriture n'est pas limitante.

7.2.3 Conséquences sur la variabilité spatiale inter-bassins

Le potentiel productif des bassins d'élevage mytilicoles peut donc être estimé sur la base de deux critères :

- la concentration en chlorophylle printanière,
- la concentration en turbidité en été.

Sur la figure 7.9, les bassins d'élevage des façades Manche Atlantique ont été classés en fonction de ces caractéristiques à partir des données traitées dans la partie 5.1 (cf. 5.1-1). Pour les sites où une productivité par unité de surface a pu être évaluée, elle est représentée par un disque dont le diamètre est proportionnel à sa valeur.

Le site de Boyard sur lequel les efflorescences sont tardives (5.3-3) présente des concentrations en chlorophylle plus faibles au printemps. Les performances élevées dans ce bassin s'expliquent plus probablement par la disponibilité trophique estivale dont la valeur est donnée par l'ordonnée du point rouge (Boyard (été)).

Utah, le Pas de Calais, la Baie de Somme, la Plaine et Aiguillon sont des sites d'élevage dont les caractéristiques environnementales semblent optimales. Certains de ces bassins sont en effet considérés comme les plus productifs. Dans la partie 5.1) 3), ces sites appartenaient aux catégories environnementales intermédiaires ou estuariennes.

Le groupe dont les performances sont limitées par la nourriture disponible au printemps englobe l'ensemble des bassins de Manche Occidentale.

Yves, Aix et Marsilly dans les Pertuis semblent être des sites sur lesquels la turbidité limite la productivité.

Productivité des sites mytilicoles

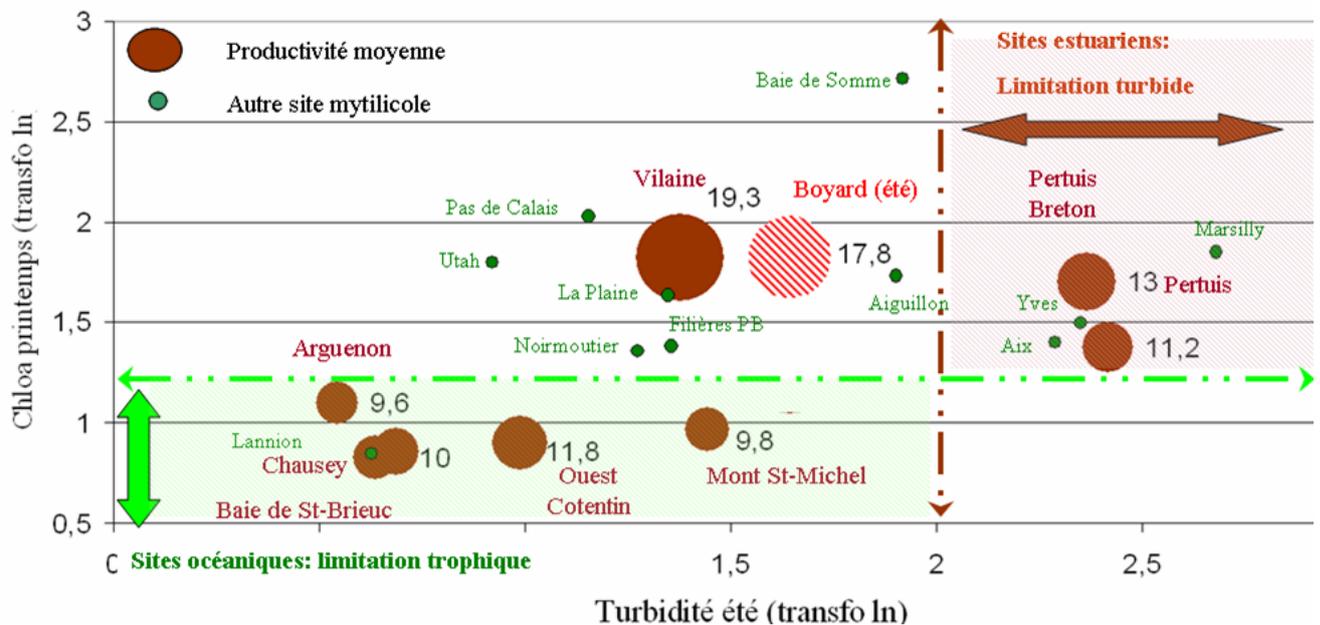


Figure 7.9 : Potentiel productif des bassins mytilicoles en fonction de leurs caractéristiques environnementales (chlorophylle au printemps et turbidité estivale). La productivité moyenne rapportée à une unité de surface est représentée par le diamètre du point lorsqu'elle est connue.

7.2.4 Conséquences sur la variabilité interannuelle des performances

La variabilité interannuelle des performances est liée à la disponibilité en nourriture sur une majorité de bassins d'élevage

Dans la partie 5.1.2, il apparaissait que la concentration en chlorophylle était anormalement faible au printemps en 2010 et particulièrement en 2011 avec les valeurs les plus basses mesurées en 14 années de suivi. A l'inverse les printemps 2007 et 2008 présentent les valeurs les plus élevées mesurées sur cette même période.

L'analyse des effets des fluctuations interannuelles de paramètres environnementaux saisonnalisés est limité par le faible nombre de données. Cependant, certaines des interactions étudiées semblent significatives ($p < 5\%$) :

Les fluctuations des concentrations en chlorophylle printanière ont un impact significatif sur l'évolution des performances mytilicoles en Baie du Mont Saint Michel, Baie de Vilaine et dans le Pertuis breton. A Boyard, c'est la disponibilité trophique pendant l'été de récolte qui semble déterminer l'évolution des performances.

Des régressions linéaires simples entre concentration moyenne en chlorophylle au printemps et performances de l'année permettent de visualiser l'effet d'une évolution de la disponibilité trophique site par site (seulement 4 à 7 données par bassin) :

A l'exception du Pertuis breton ($R^2 = 0,2$), les corrélations entre la disponibilité trophique et les performances sont intéressantes pour les sites où l'effet de cet interaction est significatif (Boyard, Vilaine, Mont Saint Michel). Dans le cas des Baies de l'Arguenon et de Saint Briec, la corrélation entre performances et concentration en chlorophylle est bonne ($R^2 = 0,9$) mais l'effet ne peut pas être considéré comme significatif compte tenu du faible nombre de données (4 par bassin pour les années 2007, 2008, 2010 et 2011). Il n'apparaît aucun lien entre ces deux variables dans le cas des Pertuis (Yves et Aix), de la partie Ouest Cotentin et de Chausey. Pour ces deux derniers sites, la fugacité des blooms printaniers peut être incriminée : avec une mesure tous les quinze jours, une évaluation correcte de la disponibilité trophique est difficile à partir des données d'un site REPHY. L'utilisation de mesures satellites quotidiennes permettrait de vérifier cette relation avec l'acuité requise. D'autre part, le site de prélèvement de Donville n'est pas représentatif des bassins mytilicoles de la partie Ouest Cotentin. Ce point a été choisi car la fréquence d'échantillonnage couvrait l'ensemble des saisons de 2004 à 2011.

Relations simples entre concentration moyenne en chlorophylle printanière et productivité des sites mytilicoles entre 2005 et 2011

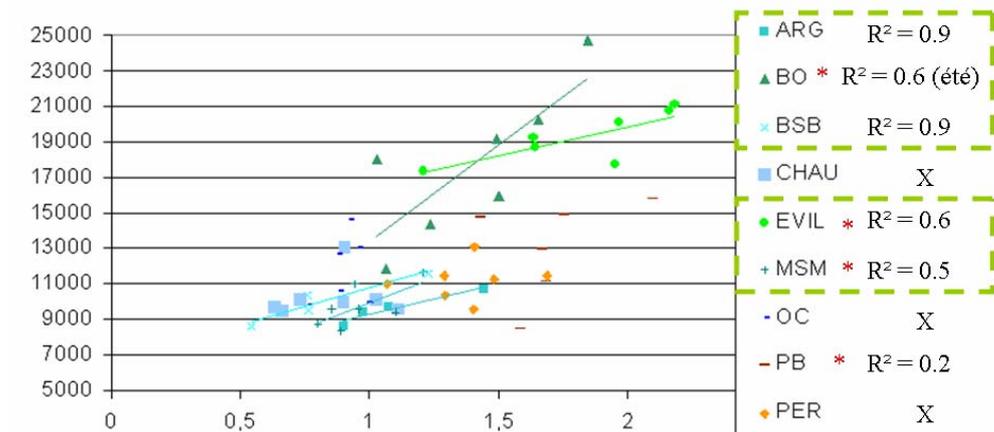


Figure 7.10 : Régressions simples entre concentration moyenne en chlorophylle au printemps et performances de l'année par bassin d'élevage exprimées en kg de moules produites par hectare. Les coefficients de corrélation sont calculés (R^2) une étoile rouge indiquant un effet significatif.

7.2.5 Variabilité interannuelle des performances dans les Pertuis charentais

Un équilibre entre la disponibilité en nourriture et la turbidité semble déterminer la productivité dans les Pertuis charentais

Dans ce rapport, les bassins des Pertuis sont décrits par des points REPHY localisés sur les sites de Boyard, Aix et Yves (groupe PER) et Marsilly et Aiguillon (groupe Pertuis breton). L'explication de la variabilité interannuelle paraît beaucoup plus complexe comme l'illustre la variabilité des schémas d'évolution des performances par bassin d'élevage (figure 6.9).

La concentration en nourriture explique bien la variabilité des performances uniquement sur le site de Boyard. Pourtant, les résultats du réseau REMOULA dans les Pertuis montrent que l'abondance de la ressource trophique au printemps et en été est favorable à la croissance (Soletchnik et al., 2013). En été,

les courants sortant des baies semblent avoir un impact bénéfique sur les sites d'Aix et de Marsilly traduisant l'effet d'un enchaînement entre une production phytoplanctonique au printemps et phytobenthique issue des vasières en été.

Le traitement des résultats du REMOULA met également en évidence l'existence de corrélations négatives entre les apports en eau douce et la croissance mesurée sur les sites les plus euryhalins (Soletchnik et al., 2013). Ce constat est à rapprocher de l'effet possible d'un stress turbide mis en évidence dans la partie 7.2) 2. Les performances d'élevage des trois groupes de producteurs identifiés ont été représentées en fonction de la concentration moyenne en turbidité mesurée par le REPHY durant l'été (figure 7.11).

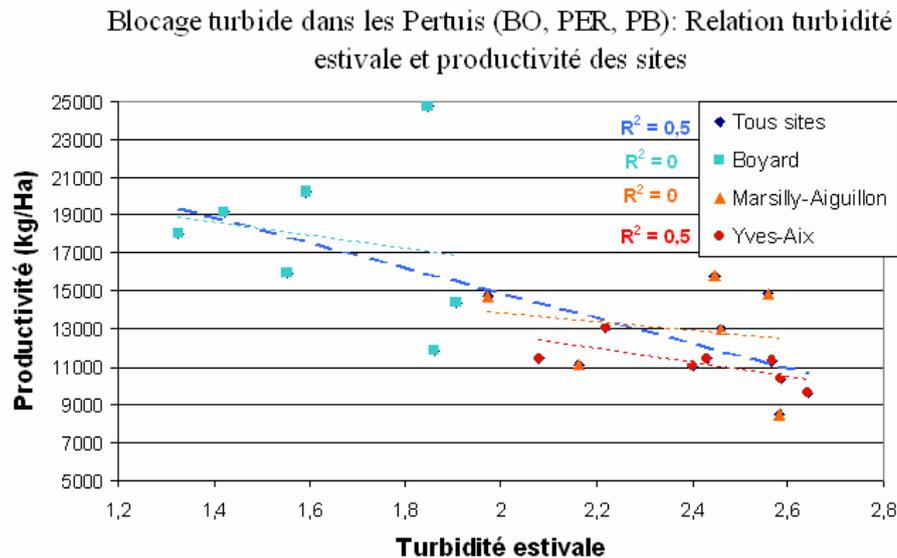


Figure 7.11 : Régressions simples entre concentration moyenne en turbidité en été (transformation $\ln(x+1)$) et performances de l'année par bassin d'élevage exprimées en kg de moules produites par hectare. Les coefficients de corrélation sont calculés (R^2).

A l'échelle de l'ensemble des pertuis, les performances d'un bassin d'élevage semblent être liées au niveau de turbidité estival. Ce paramètre n'explique en rien la variabilité interannuelle des performances dans le Pertuis breton et à Boyard. Cependant, la fluctuation des niveaux de turbidité pourrait jouer un rôle dans l'évolution de la productivité pour les producteurs exploitant sur les autres sites du Pertuis d'Antioche (Yves et Aix, $R^2 = 0,5$).

Pour le Pertuis breton, la meilleure régression simple est obtenue en utilisant un indicateur de productivité trophique estivale pondéré par le niveau de turbidité ($\ln(1+\text{Chlorophylle}) / \ln(1+\text{Turbidité})$, $R^2 = 0,5$) traduisant l'existence possible d'un équilibre entre disponibilité en nourriture et stress turbide.

L'explication de la variabilité interannuelle est donc complexe et requiert la prise en compte de deux paramètres pouvant être liés mais dont les effets sur la croissance sont antagonistes.

L'hypothèse de limitation trophique reste valide pour expliquer les mauvais résultats du Pertuis Breton en 2010 et 2011. Dans le cas de Yves et Aix, la clarté des eaux permet une meilleure filtration en 2010 sans que la nourriture soit limitante ce qui n'est plus le cas en 2011. A Boyard par contre, le phytoplancton est plus abondant en 2011 qu'il ne l'était en 2009 et 2010 ce qui explique de meilleures performances.

7.3 Croissance individuelle des moules en Baie de Vilaine

7.3.1 Utilisation des données satellites

Le traitement des données professionnelles sur la croissance collectées en Baie de Vilaine (V. Hommery) montrait l'existence d'une forte variabilité temporelle (VII.5) mais aussi spatiale (VII.3) 2). Dans la partie, 7.2) 4, un lien entre la disponibilité trophique et la productivité mytilicole de ce bassin d'élevage est mis en évidence par l'utilisation des données du REPHY mesurées sur le point Loscolo. D'autres points de la baie sont échantillonnés dans le cadre du REPHY, mais la fréquence d'échantillonnage et les paramètres mesurés ne permettent pas d'analyser la variabilité d'une zone de production en particulier.

La disponibilité en nourriture des différents sites a donc été estimée en utilisant les mesures satellites (Gohin, 2008) extraites par J.Y Stanisière de la station Ifremer de la Trinité. 5 mailles ont été sélectionnées pour l'extraction (cf. figure 7.12) :

- «Estuaire» pour les sites de «Les Moines» et «Halguen»
- «Kervoyal»
- «Atlantique» pour les sites du «Lomer», «Maresclé», «Bel Air» et «Loscolo»
- «Pont-Mahé» pour les sites du « Bile » et « Pont-Mahé »
- «Loscolo », maille qui englobe le point échantillonné dans le cadre du REPHY.

La mesure de chlorophylle du REPHY à Ouest Loscolo sert de référence. Les valeurs du réseau et les mesures satellites sont moyennées chaque année pour chaque saison. Un coefficient d'ajustement est calculé pour une année « N » durant la saison « s »

$$\text{Coefficient (N_s)} = \text{LN}(\text{Moy Rephy (N_s)}) - \text{LN}(\text{Moy Sat (N_s)})$$

Cet ajustement est appliqué sur chaque maille pour tenir compte d'une déviation mesurée sur Ouest Loscolo. Si celle-ci est nulle, le coefficient est nul et la valeur ajustée est égale à la mesure satellite.

Pour chacun des sites d'élevage, des indicateurs de densité (cf. 5.6) et une estimation des temps d'exondation sont utilisés comme variables descriptives. Une valeur qualitative est attribuée pour les temps d'exondation: un classement de 1 (le plus exondé) à 3 (le plus immergé) est élaboré en fonction de la localisation des sites sur l'estran. Les données de poids moyens après tri et de remplissage (transformées par une fonction $\text{Arcsin}\sqrt{\quad}$) sont moyennées pour chaque site pour une année de récolte.

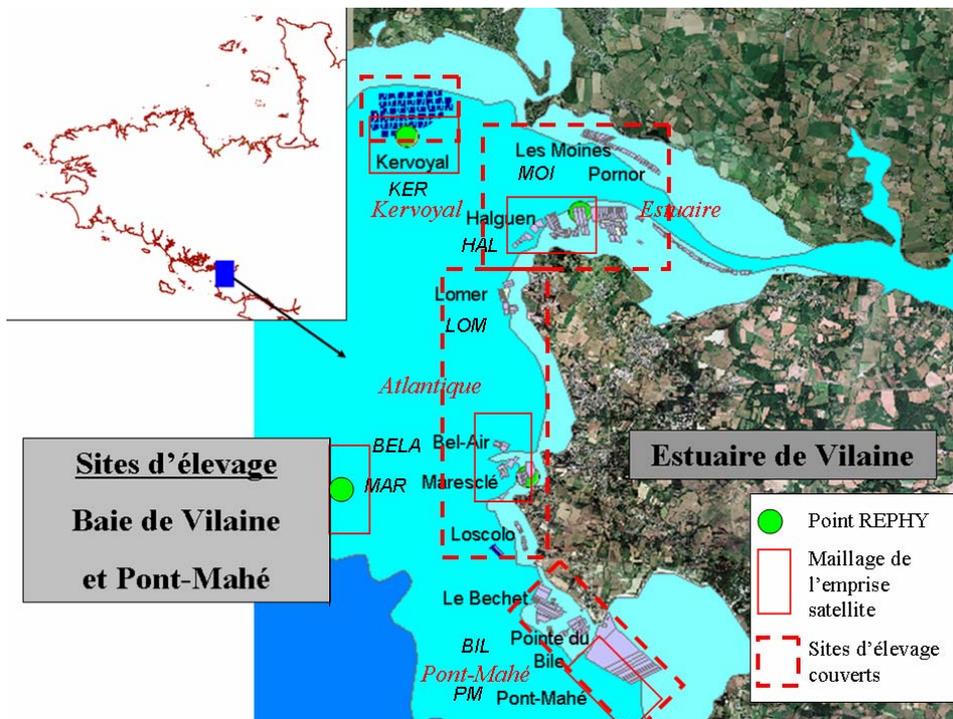


Figure 7.12 : Principaux sites mytilicoles en Baies de Vilaine et Pont-Mahé (Remarque : sur le site de Pont-Mahé, la partie Est des bouchots de la baie situés en Loire-Atlantique n'est pas représentée). Les mailles utilisées pour l'extraction des données du satellite sont représentées ainsi que les sites auxquels ces valeurs seront appliquées.

7.3.2 Croissance et disponibilité trophique au printemps

La réalisation de régressions multiples entre le poids moyen des moules après tri, des effets « site », densité, exondation et les moyennes saisonnières de la chlorophylle met en avant l'importance de la disponibilité trophique au printemps. Les concentrations en chlorophylle expliquent à elles seules une grande partie de la variabilité entre les années mais aussi entre les sites. La relation entre la moyenne des mesures au printemps et le poids des moules mesurées après tri est illustrée sur la figure 7.13.

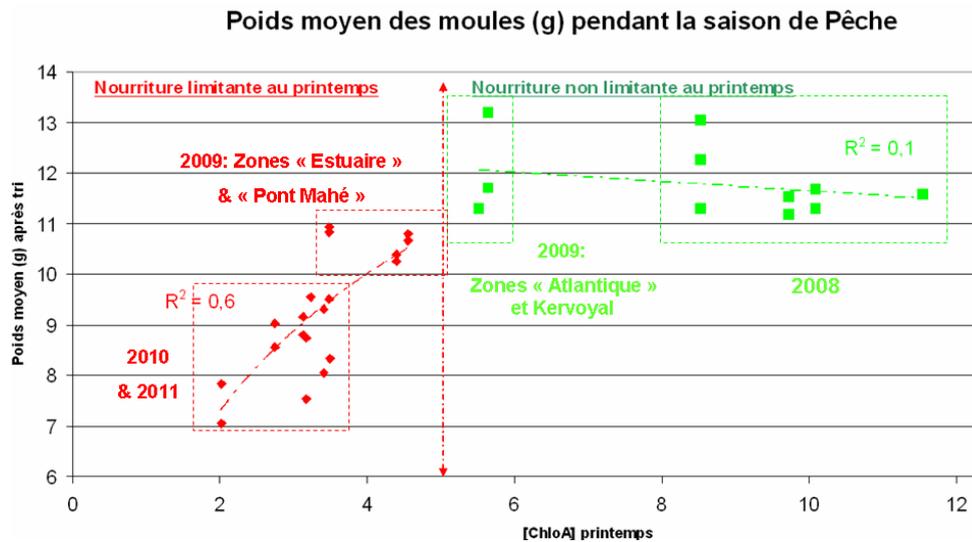


Figure 7.13 : Mise en évidence de l'existence d'un seuil trophique : relation entre la chlorophylle moyenne mesurée au printemps et le poids moyen des moules après tri sur différents sites d'élevage de Baie de Vilaine.

Cette relation montre l'existence d'un **seuil de concentration de nourriture** au dessus duquel le poids moyen après calibration est compris entre 11 et 13 g (77 à 91 moules/kg) et n'évolue pas. En dessous de cette valeur limite, la croissance décroît fortement de 11 à 7 g (91 à 143 moules/kg) avec la concentration en nourriture.

Avec une productivité phytoplanctonique très importante en 2008, la nourriture est très abondante sur l'ensemble des sites d'élevage. La croissance est bonne et homogène. La nourriture ne semble pas limitante en 2009 pour les sites de la façade Atlantique et sur Kervoyal. Des concentrations en chlorophylle plus faibles dans l'estuaire et à Pont-Mahé semblent expliquer une croissance moins bonne sur ces sites cette même année (entre 10 et 11 g). En 2010 et 2011, la limitation trophique est très marquée pour l'ensemble des sites. Elle explique une baisse très forte des poids moyens après tris sur l'ensemble des sites (de 7 à 10 g).

7.3.3 Remplissage, limitation trophique et durée d'exondation

Les mauvais remplissages sont associés à la fois à une limitation trophique et à une exondation plus importante.

La variabilité des taux de remplissage est beaucoup moins bien expliquée par des critères qualitatifs tels que le site (16% de la variabilité) ou l'année (18% de la variabilité). La saisonnalité de ce paramètre est marquée (10%) en lien avec un **accroissement entre mai et juillet** (les mesures sont réalisées de mai à décembre).

La réalisation de régressions multiples entre le remplissage des moules (transformé par une fonction Arcsin $\sqrt{\quad}$), des effets « sites », densité, exondation et les moyennes saisonnières de la chlorophylle met en avant l'importance de la **disponibilité trophique au printemps ou en été**. Sur la période de 2008 à 2011, les variables décrivant l'abondance du phytoplancton au printemps et en été sont inter-corrélées : il n'est donc pas possible de distinguer les effets respectifs de chacune de ces saisons.

Les effets liés aux sites expliquent une grande partie de cette variabilité et notamment la variable qualitative utilisée pour estimer les temps moyens d'exondation : **le remplissage des moules localisées en haut d'estran sera moins bon si la nourriture disponible est limitante**.

8. Pertes de moules par décrochage ou mortalités

8.1 Recrudescence des mortalités par prédation

Sur certains sites, une recrudescence de la prédation a été constatée :

- prédation par les daurades en Baie de l'Arguenon et en rade de Brest. Ce problème n'a pas été traité spécifiquement dans ce rapport
- prédation par les étoiles en Baie de Vilaine, La Plaine sur Mer et des sites du large du Pertuis Breton.

En raison de l'importance des mortalités constatées dans l'estuaire de la Loire en fin d'année 2011, une mission d'enquête a été désignée le 26 décembre 2012. Un avis Ifremer relatif à la cause de ces mortalités a également été émis (LER/MPL/12.011/Tm). La prolifération d'étoiles de mer était liée à des conditions hydro-climatiques exceptionnelles favorables à leur recrutement et surtout à leur maintien en zone tidale. Les étoiles de mer n'étant pas capables d'osmorégulation extracellulaire, des variations brutales de salinité limitent fortement leur activité. Les conditions de sécheresse exceptionnelles des hivers et printemps 2011 puis de l'automne 2011 (jusqu'à la fin décembre) ont favorisé leur maintien sur les sites de production. Les sites touchés par cette recrudescence : Vilaine, La Plaine et Pertuis sont soumis à des influences estuariennes pouvant être marquées. L'occurrence de dessalures importantes en lien avec des apports massifs contribue à limiter fortement cette prédation. Une réduction des débits durant l'année et des temps calmes ont concouru à un maintien des étoiles sur les sites et à leur développement.

8.2 Mortalités de moules adultes sans lien avec la prédation

Le constat d'un accroissement des pertes de moules adultes sans lien apparent avec la prédation est difficile à quantifier.

Constat des mortalités hors prédation

Le système de suivi en pochons utilisé dans le réseau Remoula permet d'estimer la mortalité. Les résultats pour l'année 2011 sont présentés sur le site du LERPC : <http://www.ifremer.fr/lerpc/Ressources-aquacoles/REMOULA/Resultats-2011> (Robert, 2011). Ils montrent une très nette augmentation de la mortalité cumulée sur l'année en comparaison avec la moyenne 2006-2010. Le maximum sur cette période est atteint dès le mois de septembre avec près de 20% de mortalités cumulées. La hausse paraît très importante durant l'été et l'automne (figure 8.1).

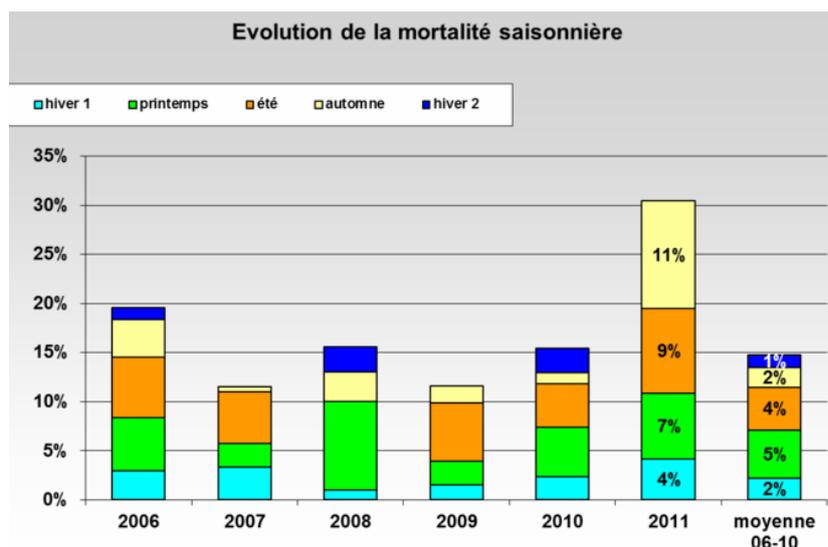


Figure 8.1 : Évolution de la mortalité saisonnière cumulée entre 2006 et 2011. Résultats du réseau Remoula (Robert, 2011) : <http://www.ifremer.fr/lerpc/Ressources-aquacoles/REMOULA/Resultats-2011>

Cas des mortalités estivales aux Îles de la Madeleine

Dans la bibliographie, peu de cas de mortalités sans lien avec la prédation ou une parasitose sont cités. L'apparition de mortalités estivales pour les moules élevées en suspension aux Îles de la Madeleine a cependant été étudiée durant les années 90 (Myrand, 2000). Ces phénomènes ont pu être associés à la ponte et à une température élevée, aucun des facteurs n'expliquant à lui seul le déclenchement de ces mortalités. En eaux peu profondes, le déclenchement des mortalités survient en juillet lorsque les moules affaiblies par une ponte importante sont soumises à un pic de température. Lorsque les mortalités ont lieu, les concentrations en réserve sous forme de glycogène décroissent et la croissance en coquille est stoppée. Les moules survivantes parviennent à récupérer à partir de fin août (reconstitution du stock de glycogène et reprise de la croissance). Les mortalités touchaient 65% des moules soumises à un stress thermique (>20°C) et n'apparaissaient pas pour les individus immergés à 16 mètres dans des conditions moins stressantes.

Ces études ont démontré également la susceptibilité génétique de certaines populations à ces phénomènes.

Dans les lagunes des Îles de la Madeleine, la ponte a lieu vers juillet et semble à la fois massive et synchrone (Myrand, 2000 ; Lachance, 2008). Elle précède une période durant laquelle les températures sont élevées et les concentrations en nourriture faibles.

Caractéristiques environnementales des périodes suivant la ponte sur les façades Manche/Atlantique

Sur les façades Manche/Atlantique, plusieurs pontes décalées peuvent apparaître avec une variabilité à la fois spatiale et interannuelle (Rougerie, 1991 ; Picoron, Robert, 2006...). Plusieurs auteurs suggèrent un déclenchement de la ponte en lien avec la concentration en nourriture (Newell, 1982) ce qui pourrait expliquer une grande variabilité entre des sites proches (Rougerie, 1991). En France, les pontes de *Mytilus edulis* sont très souvent fractionnées et peuvent avoir lieu de la fin de l'hiver jusqu'à la fin du printemps voire exceptionnellement en été. La reconstitution du stock de glycogène est réalisée pendant la phase de repos sexuel qui succède à la ponte durant le printemps et l'été (Picoron, Robert, 2006). Dans les conditions décrites par Myrand (2000), cette restauration ne semble pas pouvoir se faire dans de bonnes conditions.

Les mortalités estivales récurrentes aux Îles de la Madeleine ne sont pas identifiées en France car les conditions d'après pontes sont moins propices à leur déclenchement :

- la température de l'eau est inférieure à 20°C durant le printemps: la moyenne printanière oscille entre 56,12°F en Baie de l'Arguenon et 16,8°C à l'Aiguillon (REPHY, partie 7.1) ;

- la disponibilité en nourriture est bonne car la ponte précède souvent le développement des efflorescences.

Caractéristiques environnementales des périodes suivant la ponte sur les façades Manche/Atlantique en 2011

Les caractéristiques environnementales exceptionnelles de l'année 2011 paraissent plus propices à l'apparition de ce phénomène :

- la température de l'eau au printemps est particulièrement élevée (+0,8°C en moyenne) avec des maxima compris entre 16,5°C à Noirmoutier et 20,7°C en Baie d'Yves. En été, les températures ne sont pas exceptionnelles et s'avèrent même être plus faibles que la normale (-0,4°C en moyenne). (REPHY, partie 7.1) ;
- les concentrations en nourriture sont les plus faibles sur 14 années pour les sites REPHY choisis dans la partie 7.1.

Sans être aussi extrêmes que les conditions régnant après la ponte dans les lagunes des Îles de la Madeleine, celles-ci s'en rapprochent en comparaison avec une situation environnementale « standard ». **Ces mortalités pourraient être liées à une conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux :**

- 1) affaiblissement physiologique par la ponte entre la fin de l'hiver et le printemps,**
- 2) difficile restauration du stock de glycogène après la ponte en raison du déficit trophique,**
- 3) augmentation de la température et maintien du déficit trophique = accentuation de l'affaiblissement physiologique,**
- 4) déclenchement des mortalités pour les individus les plus affaiblis.**

Les mortalités pourraient ainsi se poursuivre voire s'accroître durant l'été avec la persistance du déficit trophique et l'augmentation de la température de l'eau.

Une commission d'enquête a été désignée le 2 septembre 2011 pour constater les problèmes de croissance et de rendements dans les Pertuis (Robert, 2011). Le constat d'un déficit marqué en moules de taille commercialisables sur certains pieux suggérerait l'hypothèse d'une disparition des plus grosses moules. Les phénomènes de décrochages et de mortalités constatés par les professionnels pourraient expliquer ces disparitions.

Dans la partie suivante, un inventaire bibliographique portant sur le byssus et la fixation des moules est réalisé. Une hypothèse est proposée sur ces phénomènes dans la partie 8-4.

8.3 Étude bibliographique sur le byssus et la fixation des moules

La littérature sur ces questions est abondante. Trois paramètres y sont étudiés :

- la production de filaments est la plus souvent utilisée car elle est facilement mesurable,
- la force d'attachement pouvant être mesurée par dynamométrie (Lachance, 2008),
- des mesures directes *in situ* des décrochages (Leonard, 2004).

Les mécanismes de synthèse et d'excision de byssus permettent à la moule de s'accrocher et également de se déplacer sur son support. Les décrochages de moules sont généralement attribués à un affaiblissement de la force d'attachement qui dépend de deux facteurs : le nombre de filaments et leur épaisseur (Carrington, 2002 dans Leonard, 2004).

La plupart des paramètres chimiques, physiques voire biologiques auront un impact sur la production de filament et la force d'attachement.

Dans le milieu naturel, un cycle saisonnalisé de production apparaît (Price, 1982 ; Van Winkle, 1970) en lien avec l'évolution des paramètres environnementaux.

Un filament de byssus a une durée de vie qui est limitée à 4 à 6 semaines (Carrington, 2002 ; 2006 dans Lachance, 2008), la création de filaments se fait donc constamment comme l'ont montré des expériences d'excisions qui stimulent leur production (Young, 1985). Ainsi, la genèse de byssus est adaptable en fonction des situations : une acclimatation de la moule est possible dans des milieux soumis à une forte variabilité environnementale (estran, zones battues, sorties d'estuaires....) ;

Il n'apparaît pas de différence dans le nombre de filaments de moules localisées en haut ou en bas d'estran (Price, 1980). Il a en effet été démontré qu'une plus forte durée d'exondation stimulait la production de byssus (Van Winkle, 1970) en lien avec un accroissement du métabolisme des moules les plus exondées durant les phases immergées (Young, 1985).

L'agitation et la force du courant stimulent la production de byssus (Young, 1985 ; Mahéo, 1970) mais aussi la force d'attachement (Price, 1980). Ces adaptations sont utiles en zones battues d'autant qu'elles s'avèrent pérennes après une stimulation: la force d'attachement peut être augmentée pendant un mois suite à une tempête (Price, 1982).

Les variations de la salinité influent négativement sur la genèse du byssus (Glaus, 1968 ; Allen, 1976). Cependant, les enzymes sont capables de s'acclimater en 4 à 9 semaines (Bohle, 1972), la production pouvant revenir à la normale en 2 semaines à 13,5 PSU (Young, 1985). Il semble cependant qu'une adaptation graduelle de la salinité permette une acclimatation plus courte (Young, 1985). Ainsi, pour des milieux très euryhalins (Vilaine, sites des Pertuis, La Plaine), des dessalures brutales peuvent entraîner un arrêt temporaire de la production de byssus.

La production de byssus pourrait également servir comme mécanisme de défense contre certains prédateurs : elle peut être fortement stimulée en présence de perceurs (*Nucella lapillus*) ou de leurs effluves sans évoluer lorsqu'il s'agit de bigorneaux végétariens (*Littorina littorea*). Qui plus est, la fixation se fait dans ce cas préférentiellement sur le perceur (Farell, 2007).

Ces stimuli influant sur la production de filaments permettent une adaptation aux conditions environnementales.

Certains facteurs pourront être subis : une nourriture limitante (Price, 1980) et les dessalures (Allen, 1976) inhibent la production de filaments.

D'après certains auteurs, la reproduction n'aurait pas d'impact sur la force d'attachement de moules sauvages (Carrington, 2002 & Zardi, 2007 dans Lachance, 2008). Les études menées *in situ* aux Îles de la Madeleine (Lachance, 2008) montrent pourtant l'existence d'une synchronie marquée entre la ponte et une diminution brutale de la force d'attachement. Les décrochages mesurés *in situ* pour les moules élevées en suspension augmentent graduellement après la ponte et sont très élevés à la fin du mois de juillet (Leonard, 2004).

L'interaction entre un affaiblissement physiologique des moules et des conditions environnementales stressantes décrites pour expliquer les mortalités estivales (Myrand, 2000) pourraient aussi expliquer les décrochages dans les lagunes. La diminution de la force d'attachement constatée au moment de la ponte ne pourrait être compensée par une production de filaments suffisante les jours suivants. De plus, une turbulence faible durant l'été contribuerait à cette inhibition (Lachance, 2008).

Pour d'autres auteurs qui ont étudié les effets de la température indépendamment d'autres facteurs, l'augmentation de température permet un accroissement de la production de byssus jusqu'à un seuil de 25°C (Young, 1985) ou 28°C (Glaus, 1968). Cependant, la mobilité des moules augmente également (Allen, 1976), cette production permet donc de compenser les excisions de filaments nécessaires au déplacement. Pourtant, Lachance (2008), corrèle négativement la force d'attachement à la température. Robert et Le Moine (2003) démontrent également l'apparition d'un phénomène de décrochages massifs

dans les Pertuis en lien avec des températures très élevées : les pertes de rendements d'élevage étaient alors associées à un affaiblissement physiologique et physique des moules.

Les facteurs intervenant dans le décrochage des moules adultes sont donc complexes et impliquent l'interaction de plusieurs facteurs environnementaux et physiologiques. Les conditions d'affaiblissement physiologiques en lien avec des conditions environnementales stressantes décrites pour expliquer une hausse des mortalités pourraient aussi contribuer aux décrochages de moules. De plus, la dominance de vents faibles notamment au printemps 2010 (9.1) 4) génère une faible agitation qui inhibe la production de byssus.

Les décrochages de moules adultes en 2010 et 2011 pourraient être ainsi liés à une inhibition de la production de byssus liées à deux facteurs :

- un affaiblissement physiologique (nourriture faible et température élevée en 2011)
- la dominance de temps calmes

8.4 Décrochages et mortalités des moules adultes

Ces phénomènes sont probablement liés à une conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux.

Plusieurs références bibliographiques suggèrent un lien entre l'environnement, l'état physiologique des moules, et les événements de décrochage et de mortalité de moules adultes.

En 2003, dans les Pertuis charentais, Stéphane Robert (2003) a mis en évidence un phénomène de décrochage massif pendant l'été en lien avec des températures exceptionnellement élevées. L'incidence serait particulièrement marquée après la ponte qui entraîne un **affaiblissement des animaux**. Ainsi, aux Îles de la Madeleine (Canada), un lien a été établi entre l'augmentation de température de l'eau et les mortalités estivales (Myrand, 2000), mais aussi les décrochages (Lachance, 2008 ; Leonard, 2004), apparus en été (une saison où la disponibilité en nourriture est très faible) et systématiquement après la ponte.

L'année 2011, une telle **conjonction de conditions environnementales stressantes** (températures élevées et milieu appauvri), notamment pour des individus affaiblis par la ponte (fin d'hiver, printemps), pourrait expliquer une recrudescence de **mortalités et décrochages** :

- la quantité de nourriture disponible au printemps et en été a été exceptionnellement faible.
- la température de l'eau a été très élevée lors de ce printemps caniculaire

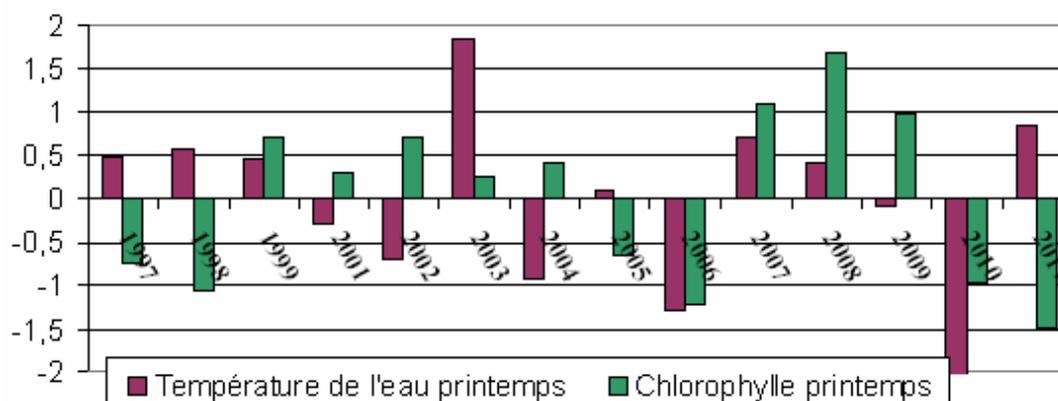


Figure 8.2 : Moyennes centrées réduites des températures et concentrations en chlorophylle mesurées au printemps (réseau REPHY – jeu de données utilisé dans la partie 7.1)

L'agitation du milieu semble également un facteur essentiel de décrochage : **la force d'attachement et la production de byssus** (Price, 1982 ; Young, 1985) augmentent avec la turbulence : un fort coup de vent suivant une période de calme entraînera un décrochage massif. L'impact sera moindre si une agitation régulière (vagues, courant) a eu lieu au préalable. Ainsi, la dominance de temps calme (printemps 2010) conduit à une inhibition de la production de byssus.

En milieu très euryhalin, des dessalures brutales peuvent également bloquer la fabrication de filaments le temps que les enzymes s'acclimatent (Bohle, 1972 ; Young, 1985). Ce pourrait être le cas dans l'estuaire de la Vilaine certaines années (notamment en 2008).

Le caractère multifactoriel et le manque de données sur ces phénomènes complexifient néanmoins l'interprétation. Un complément d'étude serait nécessaire pour quantifier et expliquer ces événements.

8.5 Décrochages et mortalités du naissain

Constats de problèmes de garnissage des cordes

Deux phénomènes peuvent expliquer a priori un mauvais garnissage des cordes : (1) un **déficit de captage**, observé en 2012 à Noirmoutier et à Pont-Mahé, (2) des décrochages ou une mortalité du naissain qui semblent expliquer en grande partie un mauvais garnissage des cordes en 2011. Nous nous sommes surtout intéressés à ces phénomènes de décrochages et mortalités du naissain dans ce rapport.

Des conditions propices à la dessiccation du naissain en 2011

Dès 1991, un déficit majeur de captage dans les Pertuis a été expliqué par des phénomènes de **dessiccation** (Dardignac-Corbeil, Prou, 1995). La conjonction de plusieurs facteurs était alors en cause :

- une exondation en journée avec de forts coefficients de marée
- un ensoleillement fort
- des vents de terre asséchants

Les caractéristiques du printemps 2011 paraissent propices à ce phénomène :

- les températures sont exceptionnellement chaudes (un des trois printemps les plus chauds depuis 1976 à Vannes)
- l'ensoleillement est très marqué (printemps le plus ensoleillé depuis 1987 à Vannes).

Effets liés à un allongement de la durée de stockage des cordes

Des évolutions zootechniques ont pu également contribuer à des pertes de naissain dans certains bassins. Une désaisonnalisation récente de la commercialisation a entraîné un démarrage plus précoce de la récolte (au moins un mois) sur certains secteurs. Cette évolution a pu contribuer à une hausse des taux d'exploitation des bouchots et à un allongement de la durée de stockage sur les chantiers. La diminution de la densité de naissain pourrait dans ce cas être simplement liée à la **compétition spatiale sur les cordes**.

Étude des pertes par densité dépendance et dessiccation du naissain

Pour mieux comprendre le déterminisme de la densité de naissain sur les cordes, une première étude a été confiée au bureau d'études Euréka Modélisation (I. Bernard) basée essentiellement sur les données collectées en Baie de Vilaine par Cochet Environnement (H. Cochet) et aux Saumonards par le CREAA (A. L. Bouquet, A. Geay). Une analyse déterministe de la décroissance du nombre de naissain sur les cordes est élaborée en fonction de la compétition spatiale et trophique (densité dépendance) et de mortalités éventuelles par dessiccation (annexe 2).

L'analyse des phénomènes de décrochages ou mortalités doit tenir compte des effets liés à la compétition spatiale. Une anomalie de densité sur une corde peut être diagnostiquée en tenant compte de l'existence d'une densité maximale qui est fonction de la taille moyenne des moules sur la corde. Au fur et à mesure que les moules grandissent, l'espace disponible sur la corde diminue jusqu'à ce qu'un seuil soit atteint : des décrochages de naissain interviennent alors en lien avec la compétition spatiale. Dans le suivi réalisé par le CREAA sur le site des Saumonards (A. L. Bouquet, A. Geay), la décroissance du nombre de moules observées au mois de juin pourrait s'expliquer par cet effet : le nombre de moules captées est en effet très important comparé à d'autres secteurs comme la Baie de Vilaine (H. Cochet). Les équations élaborées par I. Bernard (Annexe 2) permettront dans ces suivis d'évaluer le **degré de saturation en naissain des cordes à moules**.

Une fois cet effet pris en compte, des anomalies de densités peuvent être détectées. La dessiccation semble être un facteur de mortalités important (Dardignac Corbeil & Prou, 1995) qui est favorisé par :

- une petite taille du naissain ?
- un indice d'évapotranspiration élevé (air sec, vent fort et ciel dégagé) ?
- des coefficients de marée importants et la coïncidence des marées basses en journée ;

La connaissance de ces éléments permet d'évaluer le risque de mortalités par dessiccation. Les équations élaborées par I. Bernard calculent un indice d'évapotranspiration à partir des données climatiques (Annexe 2). Dans le contexte du changement climatique, cette fenêtre de risque pourrait s'étendre pour la limite sud de distribution de *M. edulis* (Jones, 2009 dans Annexe 2). Il paraît donc opportun de mettre en place des suivis spécifiques à l'évaluation des densités de naissain sur les cordes.

Les données disponibles dans les suivis assurés par le CREAA et Cochet Environnement n'ont cependant pas permis de démontrer cet effet pour l'année 2011. Une adaptation des protocoles existants serait nécessaire pour étudier ces phénomènes : l'objectif des suivis actuels est l'étude du captage. La prise en compte du devenir du naissain sur les cordes est un enjeu majeur qui pourrait éventuellement être appréhendé dans ces suivis mais également faire l'objet de suivis ou d'études plus spécifiques.

Pour approfondir les hypothèses proposées il conviendrait : (1) d'améliorer les connaissances sur la tenue du byssus, (2) de développer une méthodologie permettant de quantifier l'ampleur des décrochages et leurs impacts sur les performances d'élevage qu'il s'agisse de naissains ou de moules adultes. (3) sans attendre, certaines adaptations des protocoles de suivi existants permettraient de mieux distinguer les phénomènes de pertes par densité dépendance et par dessiccation : allongement de la durée du suivi, mesure de la taille des individus (ou du volume) et échantillonnages en début et en fin de périodes de vives-eaux.

9. Effets des conditions climatiques sur les performances mytilicoles

9.1 Caractérisation climatique des années de production

9.1.1 Analyse multifactorielle des données météorologiques

9.1.1-a Données utilisées

Plusieurs sources de données ont été utilisées pour caractériser le climat sur 11 années pour quatre bassins mytilicoles éloignés (Ouest Cotentin, Baie de l'Arguenon en Bretagne Nord, Baie de Vilaine en Bretagne Sud et le Pertuis breton) :

- des données de pluviométrie journalières collectées par Météo France sur les sites de Granville en Normandie, Dinard en Bretagne Nord, Vannes en Bretagne Sud et La Rochelle dans les Pertuis ;

- des données issues du modèle Arpège développé par Météo-France : pression atmosphérique, humidité relative, température de l'air, nébulosité et les composantes vectorielles du vent (u et v) calculées toutes les six heures sont utilisées dans l'analyse ;

- les indices NAO (North Atlantic Oscillation) journaliers calculés par Hurrell.

Ces données ont été communiquées par les stations côtières de l'Ifremer à l'exception des coefficients NAO journaliers calculés par Hurrell (NOAA, 2012) mis à disposition sur le site de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration ; <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

Ce jeu de 402 500 données permettra de décrire les saisons du 1^{er} octobre 2001 au 30 juin 2011. Comme dans les analyses précédentes, pour des raisons de simplification, une saison est décrite par ses trois principaux mois (l'hiver correspond aux mois de janvier à mars inclus).

Bassins d'élevage	Point de suivi Météo France (précipitations)	Point maille Arpège	Année										
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Ouest Cotentin	Granville	49°N_-1,5°W	Hiver (janvier - mars)										
			Printemps (avril - juin)										
			Eté (juillet - septembre)										
			Automne (octobre - décembre)										
Baie de l'Arguenon	Dinard	48,5°N_-2,5°W	Hiver (janvier - mars)										
			Printemps (avril - juin)										
			Eté (juillet - septembre)										
			Automne (octobre - décembre)										
Baie de Vilaine	Vannes	47°N_-2,5°W	Hiver (janvier - mars)										
			Printemps (avril - juin)										
			Eté (juillet - septembre)										
			Automne (octobre - décembre)										
Pertuis Breton	La Rochelle	46,5°N_-1°W	Hiver (janvier - mars)										
			Printemps (avril - juin)										
			Eté (juillet - septembre)										
			Automne (octobre - décembre)										

Figure 9.1: Liste des points de mesure Météo-France et coordonnées des mailles du modèle Arpège utilisés pour définir les caractéristiques météorologiques des années 2001 à 2011.

9.1.1-b Analyse en Composantes principales des données météorologiques

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique permettant de réduire la variabilité d'un jeu de données sous la forme des critères quantitatifs les plus discriminants projetés sur des axes non corrélés entre eux. Cette méthode a permis d'analyser ce jeu de données complexe et d'établir des comparaisons interannuelles entre les saisons.

Les deux principaux axes de l'ACP expriment 44 % de la variabilité du jeu de données.

- l'axe 1 représente essentiellement les **influences dépressionnaires** :

. Les valeurs positives indiquent des basses pressions, une humidité et une nébulosité élevée, des pluies abondantes et des vents forts avec une dominance de Sud-Ouest : **conditions dépressionnaires** ;

. Les valeurs négatives caractérisent des **conditions anticycloniques** (temps sec et clair, vents faibles).

- l'axe 2 décrit principalement la **saisonnalité** : il est inversement corrélé à la température ($R^2 = 0,9$) et à l'humidité relative. Les valeurs négatives sur cet axe décrivent des caractéristiques estivales (température élevée et temps sec).

Corrélations des variables actives avec les facteurs		
Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2
pression atmosphérique	-0,64	0,26
humidite_relative	0,58	0,65
température_air	-0,06	-0,90
nébulosité	0,65	0,08
vent_composante "u" (E - W)	0,59	-0,32
vent_composant "v" (S - N)	0,64	-0,22
cumul précipitations journalières	0,41	0,05
NAO journalier (Hurrell)	-0,05	0,03
Variabilité expliquée	2,6%	1,8%

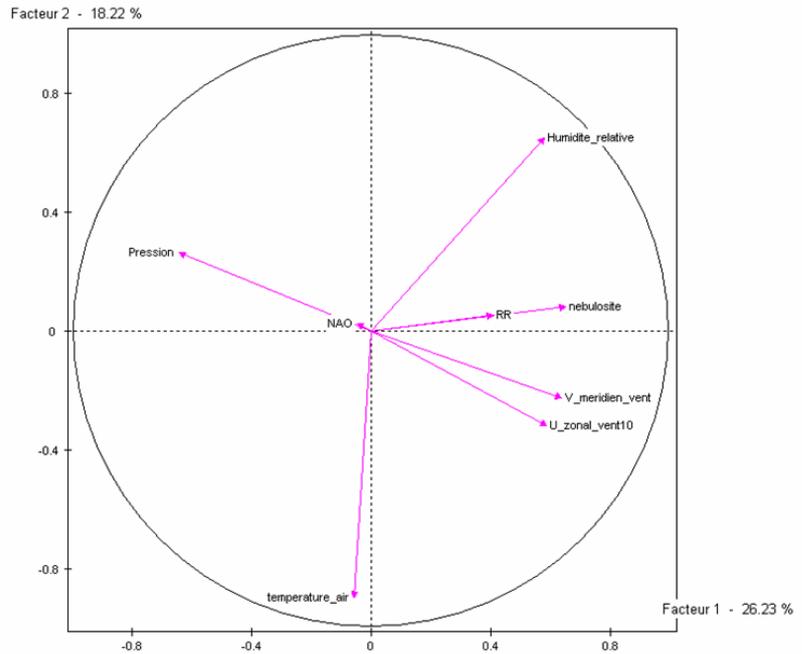


Figure 9.2 : ACP des données climatiques pour les bassins d’Ouest Cotentin, l’Arguenon, la Baie de Vilaine et le Pertuis breton entre 1996 et 2011. Corrélations des variables participant à l’élaboration de l’ACP avec les deux principaux axes décrivant 44% de la variabilité du jeu de données (données Météo-France – Modèle Arpège – NOAA (Hurrell, 2012))

9.1.1-c Caractéristiques climatiques des années 2001 (automne) à 2011 (printemps)

Dans le graphique présentant les données selon les deux principaux axes de l’ACP, les valeurs situées en haut à droite décrivent des tendances hivernales : températures froides, humidité élevée et vents forts. Les points localisés en bas à gauche correspondent à des situations estivales : températures chaudes et temps sec.

Dans la partie 7.1-2, il apparaissait que les années 2007, 2008, et 2011 se distinguaient par des caractéristiques environnementales atypiques en hiver et au printemps. Les conditions climatiques régnant pendant ces mêmes saisons présentent effectivement des caractéristiques marquées :

- durant les hivers et printemps 2007 et 2008, les conditions dépressionnaires dominent nettement avec des températures plutôt clémentes et des vents de sud-ouest soutenus ;
- les printemps 2010 et 2011 se caractérisent par une dominance de régimes anticycloniques. Les températures en 2011 sont anormalement élevées avec des conditions comparables à celles du printemps 2003. Les régimes anticycloniques sont également prédominants durant l’hiver 2011 mais de façon moins marquée qu’en 2003 et 2005.

Caractérisation climatique des saisons de l'automne 2001 au printemps 2011

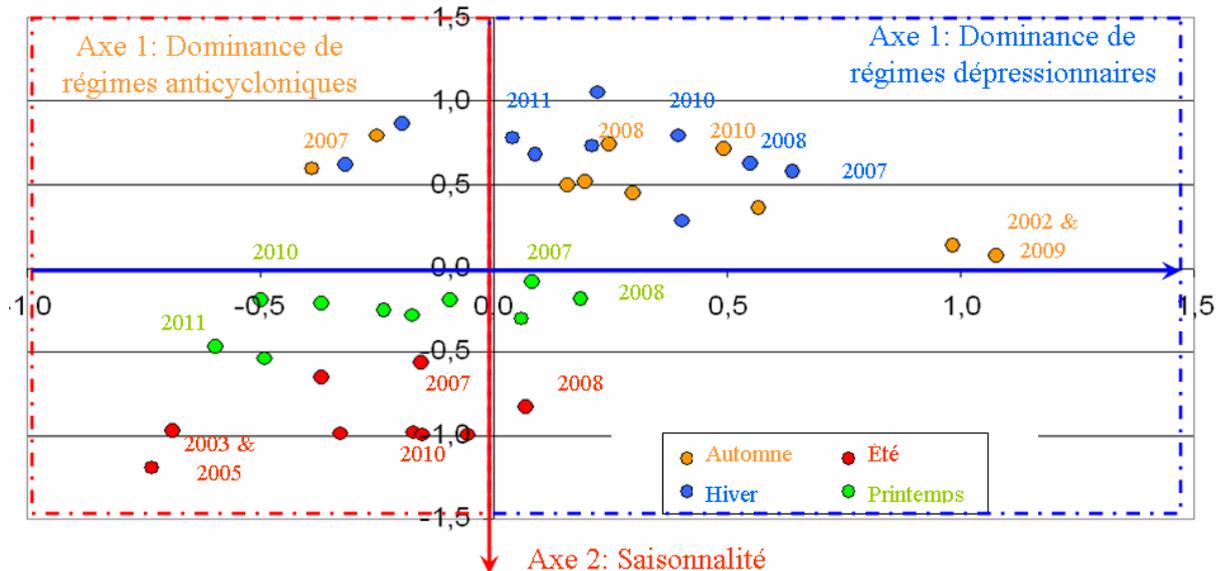


Figure 9.3 : ACP des données climatiques pour les bassins d'Ouest Cotentin, l'Arguenon, la Baie de Vilaine et le Pertuis breton entre 1996 et 2011. Caractérisation climatique des saisons pour les années 2001 (automne) à 2011 (printemps). Le positionnement des saisons pour les années 2007, 2008, 2010 et 2011 est indiqué ainsi que la localisation d'années atypiques (données Météo-France – Modèle Arpège – NOAA (Hurell, 2012)).

9.1.2 Précipitations

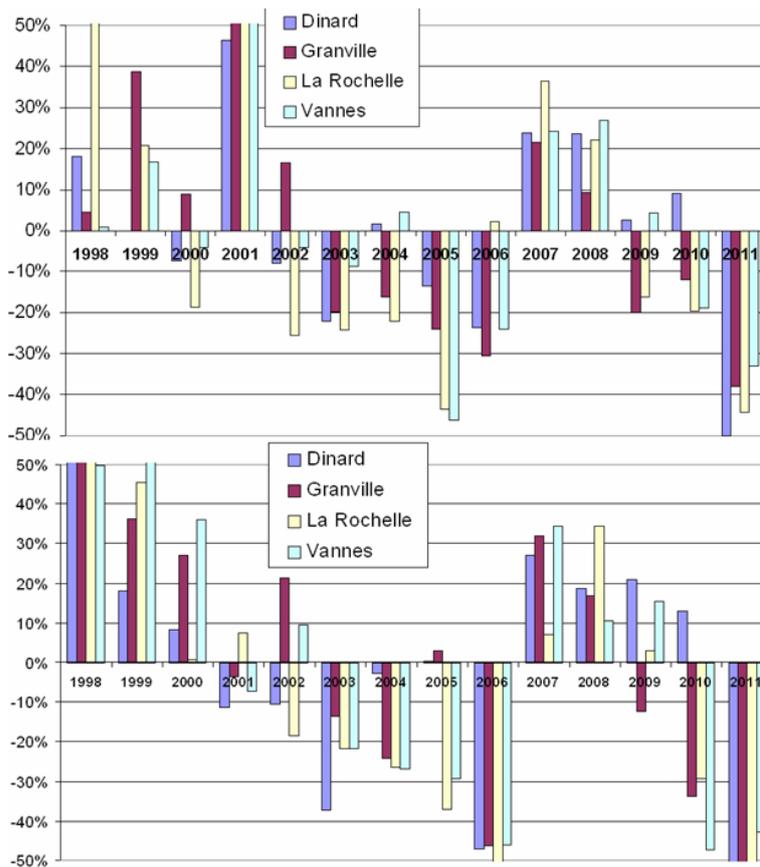
Un déficit pluviométrique particulièrement marqué apparaît les hivers et printemps 2011. En 2010, des conditions de sécheresse dominant au printemps.

Les mesures quotidiennes collectées par Météo-France sur les sites de Granville (Cotentin), Dinard (Ille et Vilaine), Vannes (Morbihan) et La Rochelle (Charente-Maritime) permettent d'évaluer l'importance des précipitations saisonnières pour une année.

Sur la figure 9.4 sont présentées les déviations à la moyenne des hivers et printemps et pour le printemps seul sur ces quatre sites entre 1998 et 2011.

La dominance de régimes anticycloniques durant les printemps 2010 et 2011 engendre une situation de sécheresse très marquée ces deux années. Ce déficit pluviométrique est particulièrement prononcé en 2011 pour les hivers et printemps, avec une sécheresse sans précédent depuis 1976 à La Rochelle (Robert, 2011). Le déficit pluviométrique cumulé des printemps et hivers 2010 est moindre qu'en 2011 car compensé par des précipitations plus abondantes en hiver.

La dominance de régimes dépressionnaires avec des vents de sud-ouest dominants en 2007 et 2008 est associée à des précipitations abondantes en hiver comme au printemps sans pour autant atteindre des valeurs record.



Déviation à la moyenne (1998-2011) du cumul des précipitations des hivers et printemps

Déviation à la moyenne (1998-2011) du cumul des précipitations des printemps

Figure 9.4 : Bilan des précipitations pour quatre sites suivis par Météo-France : Déviation à la moyenne des cumuls pluviométrique des hivers et printemps (en haut) et pour le printemps (en bas) de 1998 à 2011 (Météo-France).

9.1.3 Températures et ensoleillement

Le printemps 2011 apparaît comme exceptionnellement chaud et ensoleillé.

Les mesures calculées toutes les six heures par le modèle Arpège Météo-France sur des mailles correspondant aux zones d'élevage d'Ouest Cotentin, la Baie de l'Arguenon, la Baie de Vilaine et le Pertuis Breton permettent d'évaluer les moyennes saisonnières de températures.

L'évolution des températures par site présente en général une même tendance pour ces quatre bassins. L'année 2011 se distingue par un printemps exceptionnellement chaud. Les hivers 2007 et 2008 sont plutôt doux.

Les données Météo-France mesurées à Vannes montrent également que 2010 et 2011 sont les deux printemps les plus ensoleillés depuis 1987, 2011 étant de plus un des 3 printemps les plus chauds depuis 1976.

9.1.4 Régimes de vents des hivers et printemps

Les roses des vents décrivant les tendances annuelles sont élaborées à partir des mesures calculées toutes les six heures par le modèle Arpège Météo-France pour des mailles correspondant aux zones d'élevage d'Ouest Cotentin, de la baie de Vilaine et du Pertuis breton. L'algorithme élaboré comptabilise le nombre d'évènements correspondant à une direction de vent et une force :

- vent faible si la vitesse est inférieure à 10 nœuds,
- vent modéré pour moins de 20 nœuds,
- vent fort pour moins de 30 nœuds,
- tempête pour des vents plus forts.

Contrairement aux roses élaborées dans Previmer, celles qui suivent indiquent la direction des vents et non leur provenance.

Ces roses indiquent une tendance générale pour ces quatre bassins d'élevage, les observations réalisées sur un seul site peuvent donc différer de celles-ci. Les tendances en hiver et au printemps sur chacun de ces trois sites ont néanmoins été représentées sur la figure 9.6.

9.1.4-a Tendances sur la période 1996 - 2011

Pour ces 16 années et ces trois sites, deux régimes de vents dominants apparaissent en hiver et au printemps :

- en hiver, des régimes dominés par des vents de Sud-Ouest forts. Au printemps, les vents sont dirigés plus vers l'Ouest et sont beaucoup plus modérés ;
- en hiver et au printemps, des vents de Nord-Est plus faibles.

Tendances 1996 - 2011

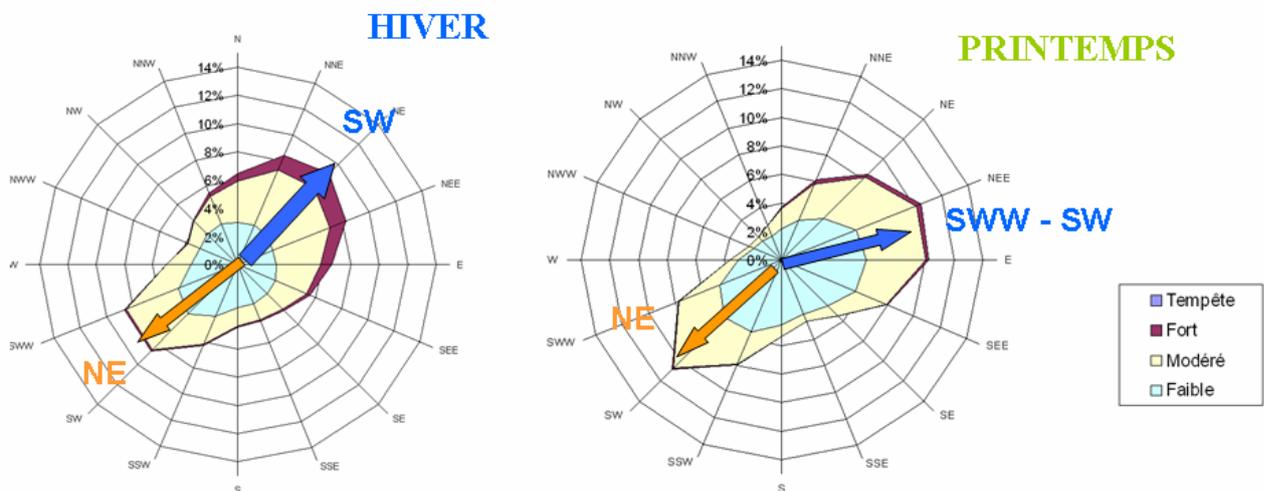


Figure 9.5 : Tendances générales de direction et de force des vents en hiver et au printemps entre 1996 et 2011 pour les sites d'Ouest Cotentin, de Vilaine et du Pertuis Breton (données Modèle Arpège Météo France).

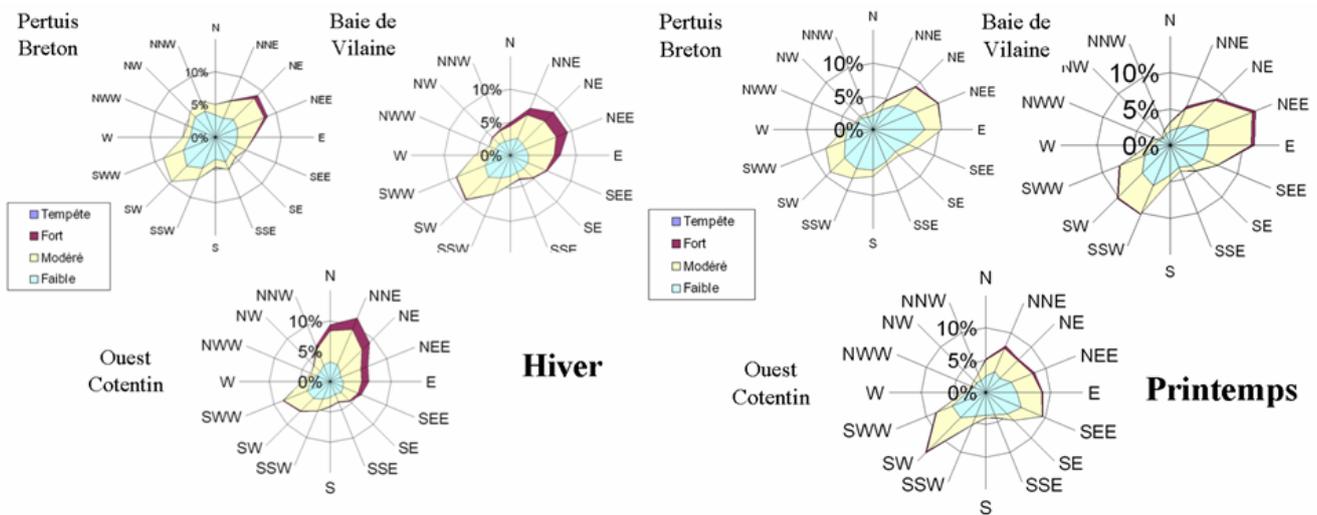


Figure 9.6 : Tendances de direction et de force des vents pour chacun des trois sites étudiés en hiver et au printemps entre 1996 et 2011 (données Modèle Arpège Météo France).

Dans l'ACP décrivant les tendances climatiques générales (figures 9.2 et 9.3), ces deux principaux régimes sont bien décrits par l'axe 1 :

- les vents de Sud-Ouest présentent le plus souvent des valeurs positives sur l'Axe 1. Ce régime est associé à des conditions dépressionnaires accompagnées de nuages et de pluies ;
- les régimes de vents plus faibles venant du Nord-Est seront plus souvent associés à des conditions anticycloniques (valeurs négatives selon l'axe 1).

9.1.4-b Régimes de vent dominants les hivers 2007, 2008, 2010 et 2011 (Figure 9.7)

Des vents de Sud-Ouest forts dominent nettement durant les hivers 2007 et 2008 alors qu'ils sont largement minoritaires en 2010 et 2011. Les hivers de ces deux dernières années, deux régimes dominants apparaissent :

- des vents faibles à modérés de Nord-Est,
- un régime plus atypique (pour ces 16 dernières années) constitué de vents de Sud.

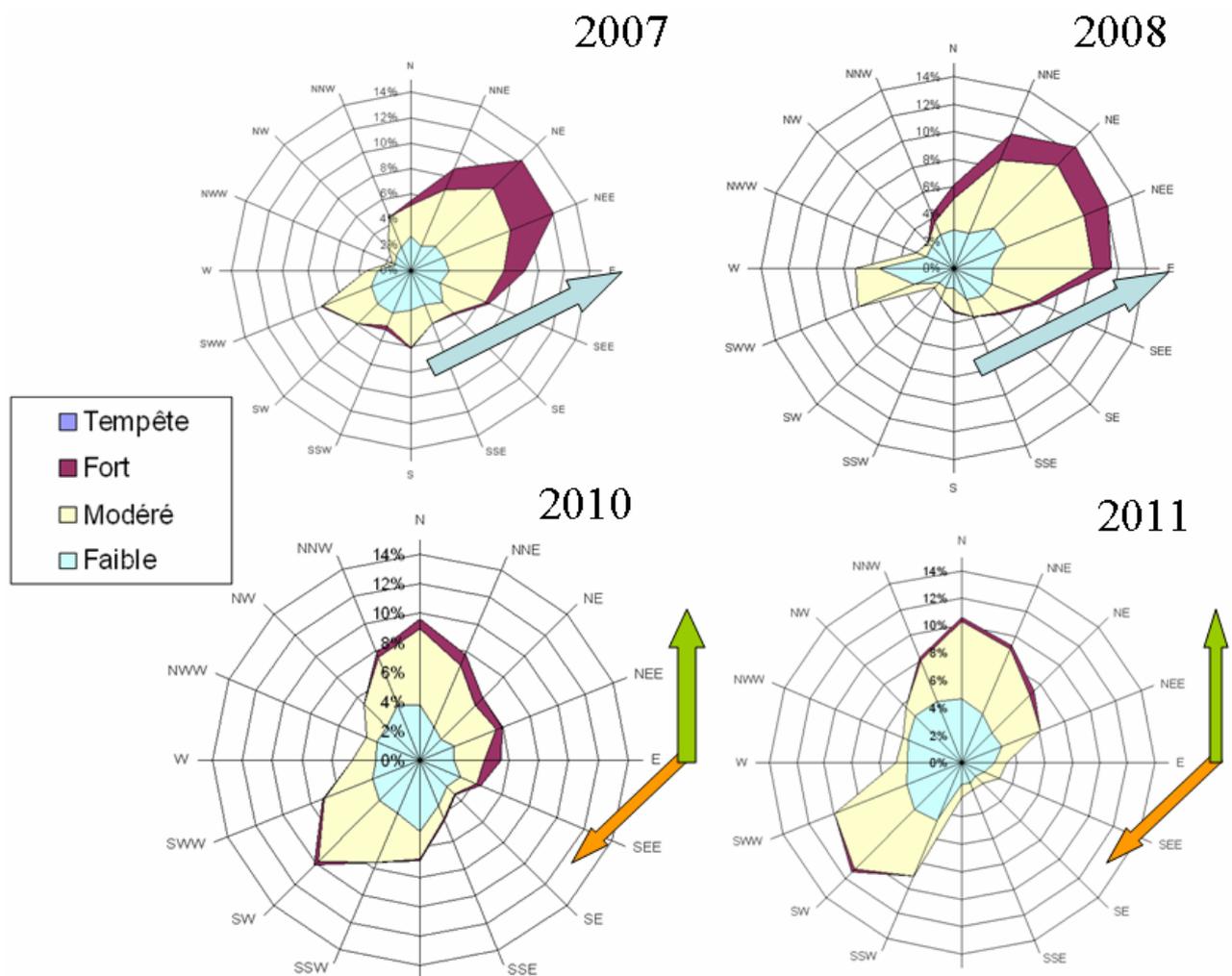


Figure 9.7 : Tendances générales de direction et de force des vents en hiver pour les sites d'Ouest Cotentin, de Vilaine et du Pertuis Breton les années 2007, 2008, 2010 et 2011 (données Modèle Arpège Météo France).

9.1.4-c Régimes de vent dominants les printemps 2007, 2008, 2010 et 2011 (Figure 9.8)

Les deux régimes dominants au printemps se manifestent en 2007, 2008 et 2011 avec des vents d'Ouest plus forts en 2007 qu'en 2008.

L'année 2010 présente une configuration caractéristique avec une prépondérance très marquée de vents de Nord-Est faibles à modérés.

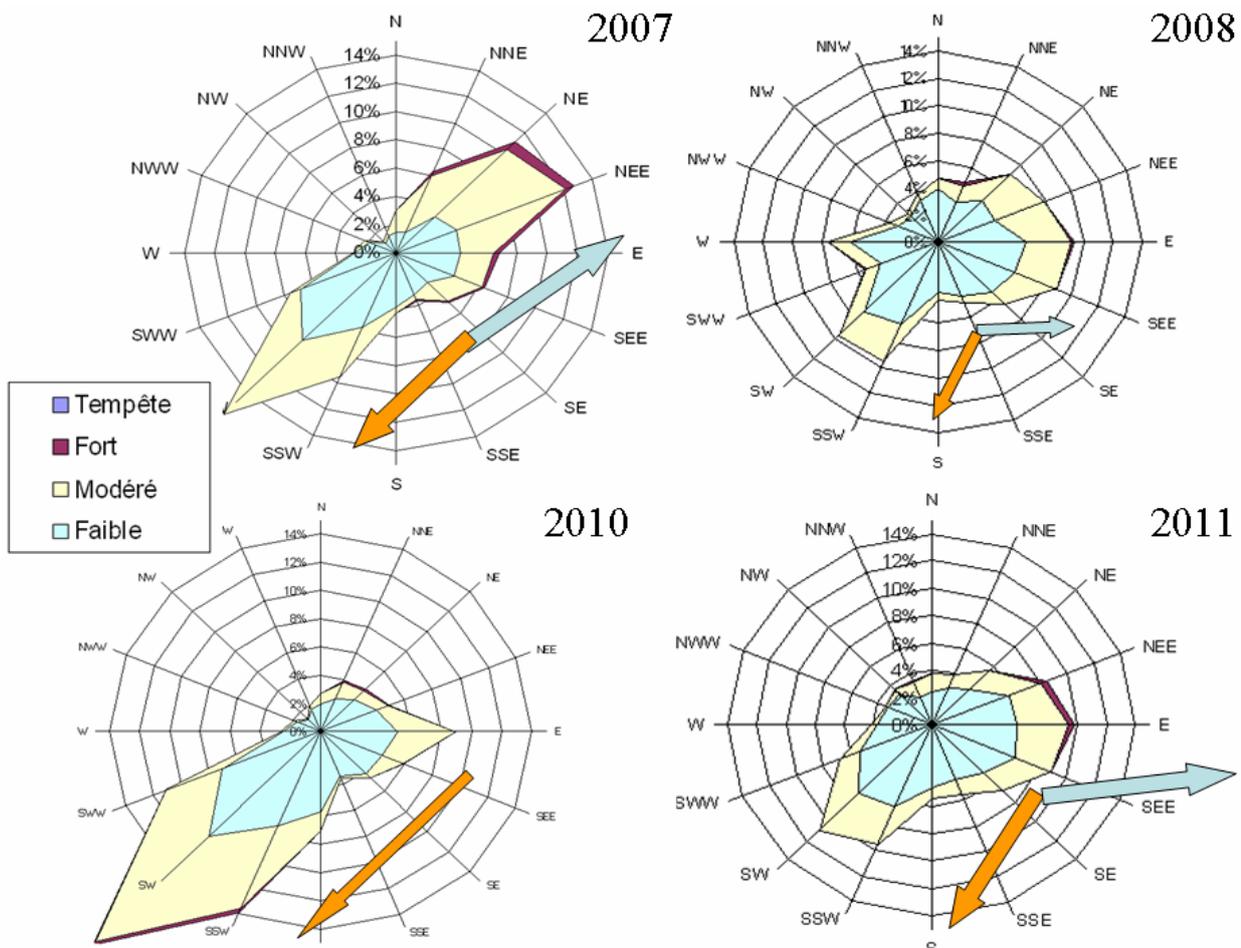


Figure 9.8 : Tendances générales de direction et de force des vents au printemps pour les sites d'Ouest Cotentin, de Vilaine et du Pertuis Breton les années 2007, 2008, 2010 et 2011 (données Modèle Arpège Météo France).

9.2 Apports fluviaux de la Vilaine

Les données utilisées ici ont été communiquées par l'Institut d'Aménagement de la Vilaine (Flore Salaün). Les débits en sortie du barrage d'Arzal entre 2003 et 2012 permettent d'évaluer l'importance des apports de la Vilaine ces dernières années. Sur la figure 9.9 sont présentés les débits mensuels de 2007 à 2012.

En 2007 et 2008, les débits hivernaux sont très importants. Ils restent très forts au printemps en 2008 et en été en 2007.

En 2010, les débits de la Vilaine sont normaux voire forts les deux derniers mois de l'année mais faibles durant l'été.

En 2011, il apparaît un net déficit hydrique durant six mois de février à juillet. Les débits sont également très faibles en automne.

En 2012, les débits hivernaux sont anormalement faibles mais les apports printaniers sont supérieurs à la normale.

Les conditions de sécheresse exceptionnelles mesurées de Granville à la Rochelle les hiver et printemps 2011 se répercutent de façon très marquée sur le débit des fleuves. L'excédent pluviométrique des hivers et printemps 2007 et 2008 a l'effet inverse. En 2010, malgré des conditions de sécheresse printanière, seuls les débits estivaux apparaissent anormalement bas.

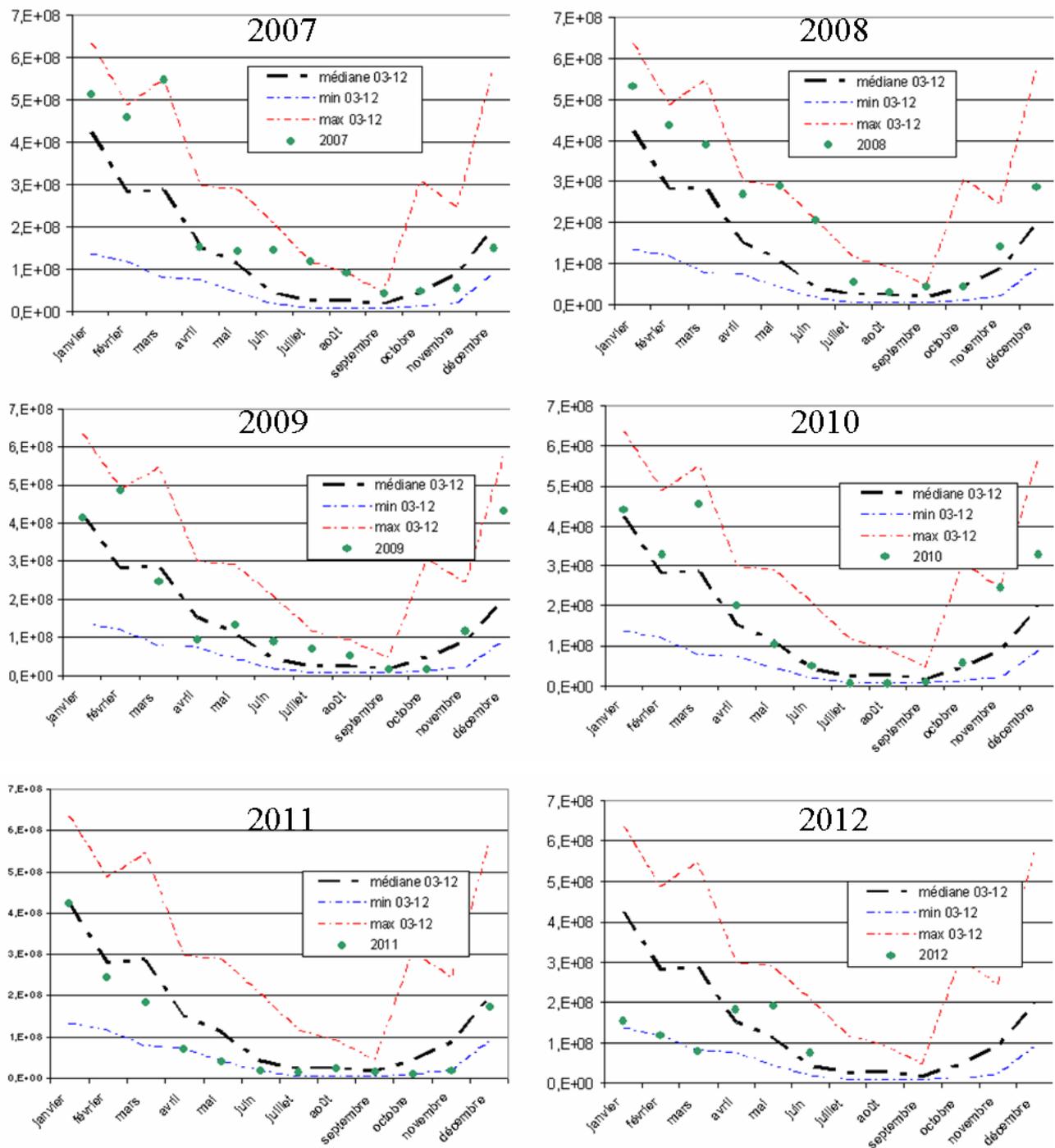


Figure 9.9 : Débits mensuels de la Vilaine en sortie du barrage d'Arzal de 2007 à 2012 (Institut d'Aménagement de la Vilaine). La courbe en pointillés noirs représente la tendance (médiane) sur la période 2003 – 2012. En rouge et en bleu sont figurés les maxima et minima de débits mesurés durant ces 10 années.

Les débits fluviaux sont très importants durant l'hiver et en début de printemps. Les apports en nutriments auront lieu essentiellement durant ces saisons. De plus, du fait de l'absence de couvert végétal, les précipitations permettent un lessivage des terres en hiver : la concentration en nutriments est bien plus élevée durant cette saison. L'essentiel du stock de nutriments nécessaires au développement du phytoplancton sera constitué durant l'hiver mais aussi, dans une moindre mesure, au printemps (Figure 9.10).

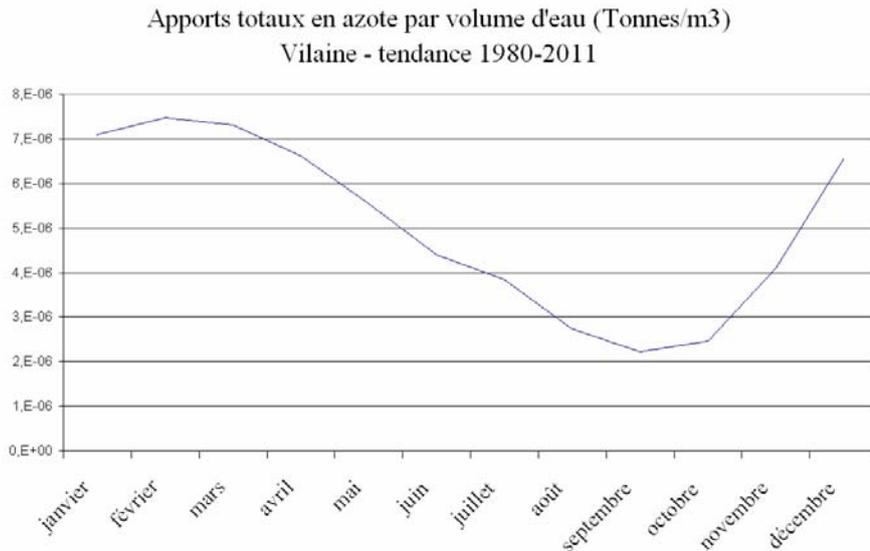


Figure 9.10 : Moyenne mensuelle du ratio apport en azote (tonnes) sur le volume écoulé (m³) de la Vilaine entre 1980 et 2011 (Institut d'Aménagement de la Vilaine).

9.3 Effets des conditions climatiques sur la croissance des moules

Les conditions climatiques influent sur la croissance des moules via leurs effets sur la productivité primaire et la turbidité.

9.3.1 Effets des apports fluviaux sur la productivité primaire dans le Mor-Braz (Dussauze, 2011).

Dans la partie 7.2-4, le lien entre la productivité d'une majorité de bassins mytilicoles et la nourriture disponible une année donnée a été mis en évidence : la baisse généralisée des rendements en 2011 est pour l'essentiel liée à un déficit trophique marqué et généralisé.

L'utilisation du modèle Ifremer ECO-MARS 3D permet de modéliser différents scénarii sur la productivité primaire. Dans le cadre d'une étude Ifremer/Agence de l'eau Loire/Bretagne, Morgan Dussauze (2011) a simulé l'effet de réductions des apports azotés et phosphorés de Loire et Vilaine sur la biomasse phytoplanctonique dans le Mor-Braz. Il apparaît qu'une diminution de 20% a déjà un effet notable sur les efflorescences de dinoflagellés (Figure 9.11) mais faible pour les diatomées car la silice est le facteur limitant leur développement. Même avec une réduction de 50% des apports en azote et phosphore, la biomasse de ces espèces au moment des blooms diminuerait peu près des estuaires.

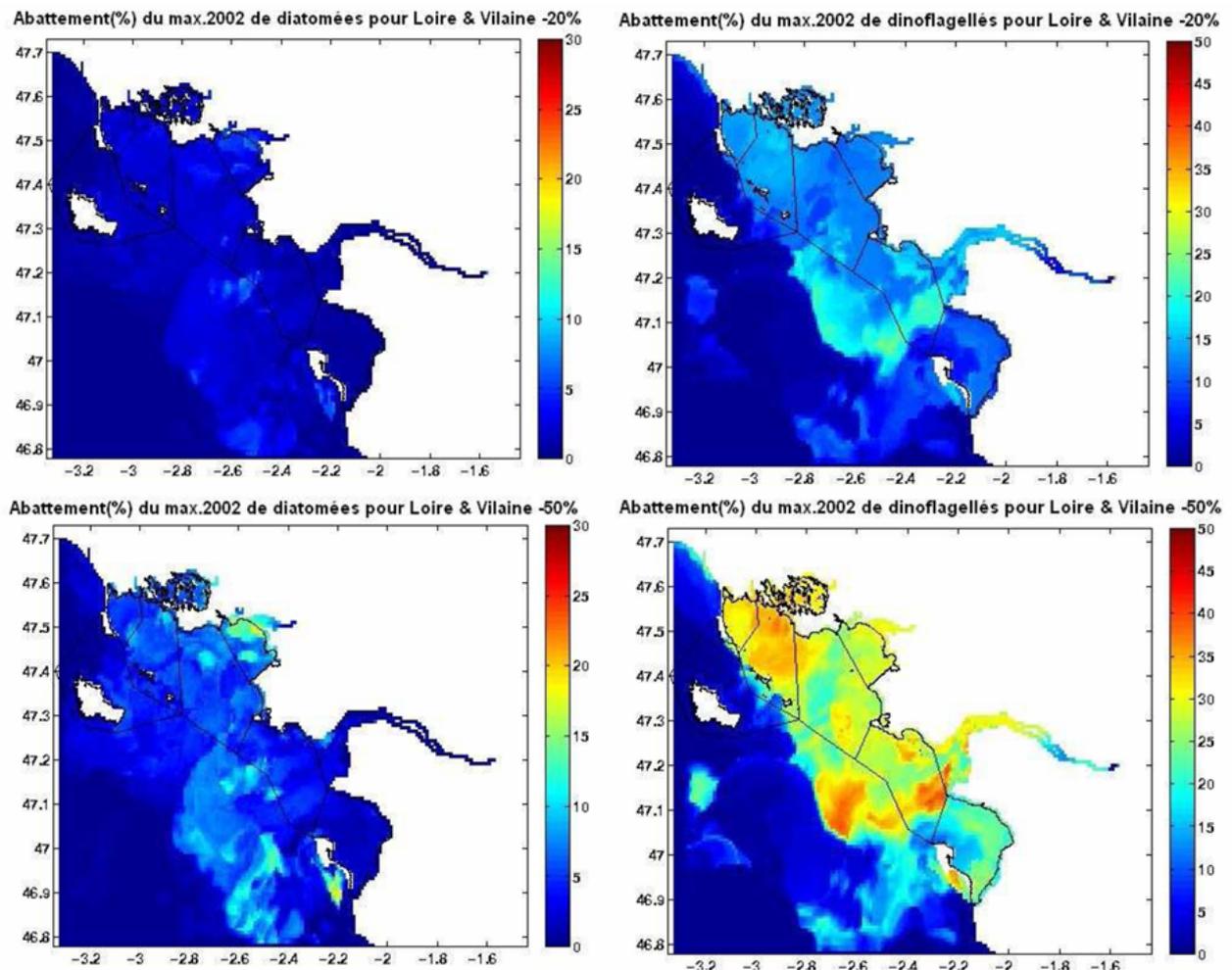


Figure 9.11: Abattement (en %) du maximum de diatomées (à gauche) et de dinoflagellés (à droite) pour l'année 2002 après une réduction des apports en nitrate et phosphate de la Loire et de la Vilaine de 20% (en haut) et 50% (en bas) (Dussauze, 2011).

Les nutriments sont apportés par les fleuves essentiellement en hiver mais aussi au printemps. Leur assimilation par le phytoplancton se fait soit directement (printemps) soit secondairement après reminéralisation de la matière organique sédimentée (« régénération » du phytoplancton, en été notamment) (Bougis, 1967). Les apports liés aux forts débits de l'hiver mais aussi du printemps auront donc un impact sur la production primaire de l'année (Guillaud et al. 2008).

Il apparaît que ce sont essentiellement les apports de la Loire qui déterminent la productivité de l'Est du Mor-Braz (Dussauze, 2011). Les débits de Loire et de Vilaine étant généralement bien corrélés (P. Souchu, communication personnelle), les tendances présentées dans la partie 9.2 sont également vraies pour la Loire avec un déficit hydrique marqué les hivers, printemps et automne 2011. Entre février et juillet 2011, les débits mensuels de la Loire sont systématiquement inférieurs à 50% des moyennes mensuelles décennales (entre 24% et 48%, Mazurié, 2012). La faiblesse de ces débits a des conséquences sur les apports en nutriments : non seulement les nitrates et phosphates mais aussi la silice nécessaire au développement des diatomées. Les données du réseau REPHY sur 14 années montrent que les concentrations en chlorophylle sont les plus faibles au printemps des Pertuis à la Baie du Mont Saint Michel. **Les conditions exceptionnelles de sécheresse régnant cette année de la Normandie aux Pertuis permettent à elles seules d'expliquer le déficit trophique constaté.**

De faibles concentrations en chlorophylle sont également mesurées dans une moindre mesure pour l'année 2010 (Partie 7.1-2). Cependant, malgré un printemps très sec, les débits de la Vilaine ne semblent pas être particulièrement impactés avant l'été : l'hypothèse d'un déficit en nutriment ne semble donc pas pouvoir s'appliquer pour ce bassin mytilicole.

Dans le Pertuis Breton, la dominance de la maïsiculture dans la région demande une irrigation importante avec un prélèvement se faisant en partie dans les cours d'eau. En 2010, les volumes prélevés étaient supérieurs à ceux des années précédentes (Agence de l'eau Loire-Bretagne). Les débits des fleuves côtiers locaux ont pu en être affectés contribuant à une limitation des apports en nutriments au printemps et en été.

9.3.2 Effets des régimes de vent sur les courants (Stanisière et Dumas, 2006 & 2012)

Des changements de régimes de vents dominants peuvent avoir des répercussions sur la dispersion et le développement des efflorescences phytoplanctoniques.

L'enquête sur les performances mytilicoles a permis d'estimer la productivité des principaux bassins des façades Manche/Atlantique sur 7 années (cf. partie 6.4). En 2010, il apparaît une baisse de productivité très marquée pour les sites du Pertuis Breton et de la partie Ouest Cotentin. Pour ce dernier bassin, il semble que ce soit la croissance des moules qui explique en grande partie cette tendance (cf. Partie 6.5-2). En Baie de Vilaine, il apparaît également une très nette diminution de la croissance des moules (Partie 6.5-3) en lien avec une diminution de la disponibilité en nourriture en 2010 (Partie 7.3-2).

Dans la partie 5.3-3, une explication concernant l'apparition ponctuelle d'efflorescences précoces sur certains sites mytilicoles du Golfe de Gascogne était proposée. En fin d'hiver, des fenêtres anticycloniques permettent le développement de blooms au large. Dans certains cas, des vents d'ouest peuvent ramener ces efflorescences à la côte. Les régimes de vent peuvent donc avoir un impact sur la disponibilité trophique au sein d'un bassin mytilicole. Cela semble être notamment le cas pour le Pertuis Breton.

Le printemps 2010 est caractérisé par une dominance marquée de vents de Nord-Est faibles à modérés. L'effet de ce régime peut être simulé par l'utilisation du modèle courantologique MARS-3D développé par l'Ifremer. Stanisière et Dumas (2012) testent l'effet de deux régimes de vents dominants sur les courants résiduels de surface dans le Mor-Braz (Figure 9.12). Avec des vents d'Est Nord-Est, les débits résiduels sont dirigés du Sud-Est vers le Nord-Ouest. En Baie de Vilaine, les courants résiduels de surface seront orientés vers le large. Avec des vents de Sud-Ouest, les débits résiduels sont orientés de la Baie de Quiberon vers l'Est. En Baie de Vilaine, les régimes d'Ouest permettent le maintien d'une stratification thermo-haline favorable aux développements d'efflorescences phytoplanctonique (Stanisière, communication personnelle).

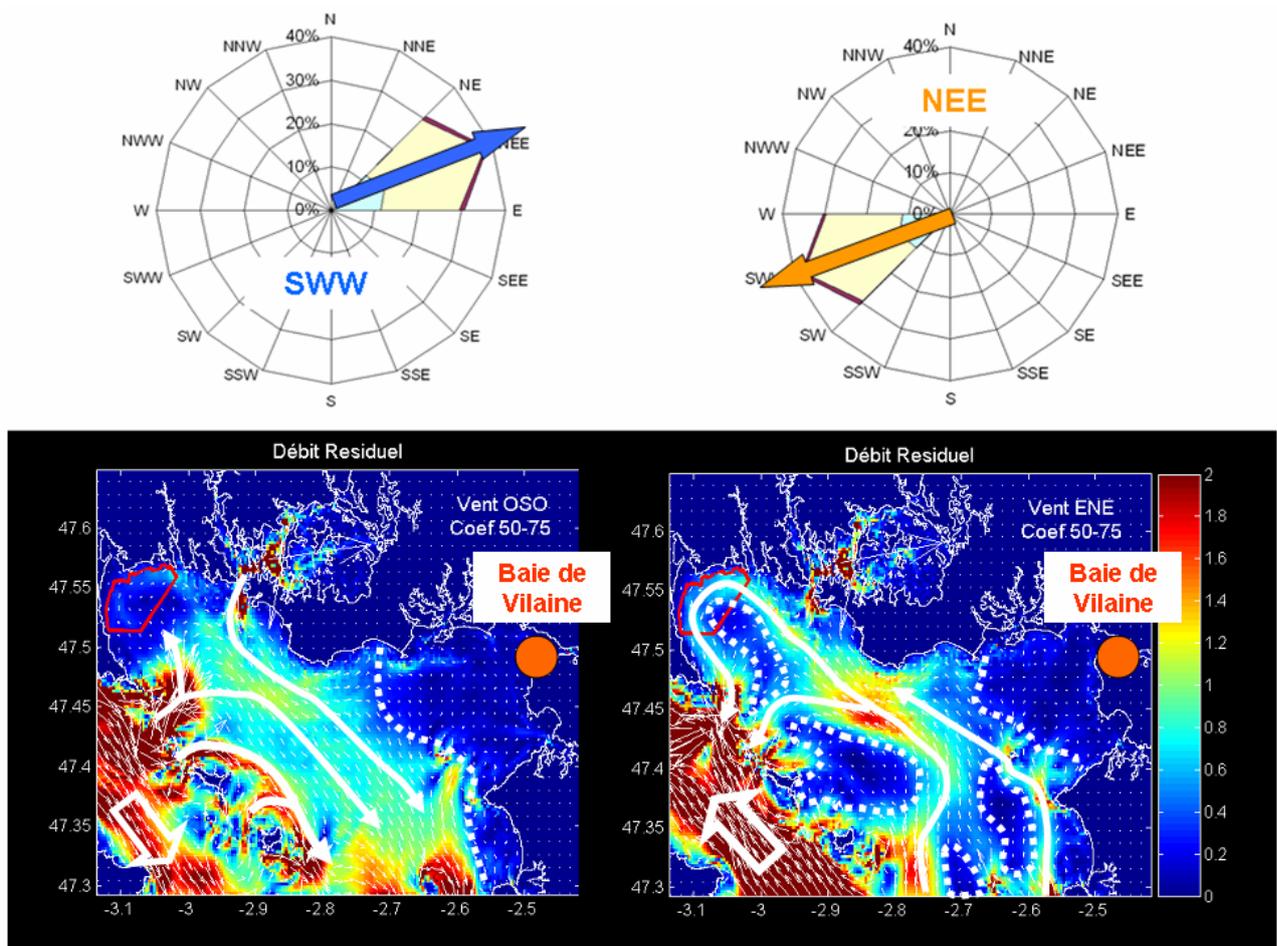


Figure 9.12: Simulations des débits résiduels dans le Mor Braz utilisant le modèle MARS 3D avec des vents dominants de SWW ou de NEE (Stanisière & Dumas, 2012, communication personnelle).

Le déficit en phytoplancton mesuré en 2010 est à l'origine d'une baisse de croissance des moules en Baie de Vilaine (7.3-2). Les régimes de vents dominants au printemps ont pu générer des conditions défavorables au développement et au maintien de ces efflorescences à l'origine de cette baisse.

Ce type de modélisation réalisée pour les pertuis charentais en utilisant le modèle Mars-2D (Stanisière et Dumas, 2006) montre également un changement important de la circulation générale en fonction du régime de vent dominant (Figure 7.13). A force de vent égale, la circulation dans le Pertuis Breton est plus importante avec des vents d'Est qu'avec des vents d'Ouest. Elle se fera du Sud-Est vers le Nord-Ouest dans ce cas et dans le sens opposé avec une dominance d'Ouest. Pour les sites d'élevages localisés au fond de ce Pertuis (Aiguillon, Marsilly), les vents dominants au printemps 2010 (de Nord-Est) peuvent avoir généré des courants qui dispersent les efflorescences vers le large. Les professionnels remarquent une inversion des performances des sites depuis 2009 avec de meilleurs rendements constatés au large. La sensibilité forte des courants aux régimes de vents semble être une piste intéressante à creuser pour expliquer cette observation.

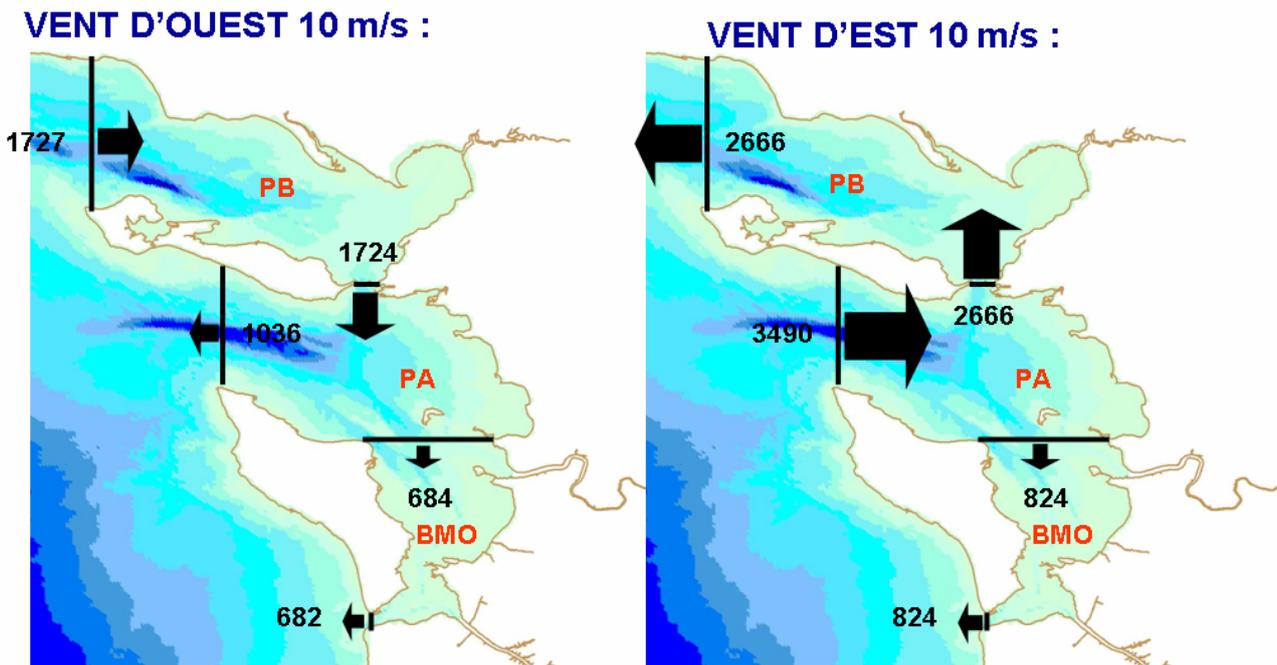


Figure 9.13: Simulations des courants résiduels dans les Pertuis utilisant le modèle MARS 2D avec des vents dominants d'Ouest ou d'Est (Stanisière & Dumas, 2006, communication personnelle).

La baisse de croissance semble également très marquée pour l'Ouest Cotentin cette même année : il serait opportun de tester l'hypothèse d'un effet des vents sur la dispersion des efflorescences printanières en 2010.

9.3.3 Effets des régimes de vent sur l'agitation (courants et vagues)

Des changements de régimes de vents dominants peuvent avoir des répercussions sur le brassage des eaux et la turbidité.

Les vents de Sud-Ouest paraissent généralement plus forts que les vents de Nord-Est. Au printemps 2007, ces régimes apparaissent régulièrement avec souvent des vents plus forts qu'en 2008, 2010 et 2011. L'agitation et le brassage des eaux sont favorisés dans ces conditions (vagues et courants).

A l'inverse, au printemps 2010, des vents de Nord-Est faibles à modérés génèrent une agitation moindre favorable à la sédimentation des particules en suspension. Cette même année étant également caractérisée par des apports peu importants des fleuves côtiers au printemps et en été, ces conditions pourraient avoir contribué à une limitation de la turbidité. Sur certains sites d'élevage des Pertuis, l'efficacité de filtration des moules a pu être améliorée sans que pour autant la nourriture soit limitante (cf. 7.2-5). Cette hypothèse permettrait d'expliquer un gain apparent de productivité en 2010 pour trois producteurs exploitant sur des sites du Pertuis d'Antioche (cf. 6-4).

9.3.4 Effets des conditions climatiques des années 2007 à 2011 sur la croissance des moules

Il semble que l'évolution de la productivité des bassins mytilicoles des années 2007 à 2011 soit en grande partie régie par la croissance des moules (Partie 6.5). Les effets des conditions climatiques des années 2007 à 2011 sur la croissance ont des répercussions sur la productivité des bassins mytilicoles.

2007 et 2008, sont des années humides dominées par des régimes dépressionnaires de l'hiver à l'été. L'importance et la régularité des apports en nutriments par les fleuves tout au long de l'année permettent un développement très important des efflorescences phytoplanctoniques. La croissance des moules est favorisée et les performances de production des mytiliculteurs sont en moyenne exceptionnelles en 2007 (+ 16% à l'échelle nationale) et très bonnes en 2008 (+ 9%) à de rares exceptions près (certains sites des Pertuis, Chausey).

A l'opposé de ces deux années, 2011 se caractérise par des conditions de sécheresse généralisées en hiver et au printemps. Les débits des fleuves sont exceptionnellement faibles de l'hiver à l'été : les apports en nutriments deviennent fortement limitants pour le développement des efflorescences phytoplanctoniques. Cette limitation trophique est observée de manière flagrante sur l'ensemble des sites REPHY étudiés et explique une baisse de croissance et un amaigrissement des moules à l'origine de cette diminution marquée de productivité : en moyenne, une baisse des rendements de 15% est constatée sur l'ensemble des bassins mytilicoles des façades Atlantique (à l'exception de Boyard et de la Baie de la Fresnaie).

En 2010, la situation mytilicole est plus contrastée malgré une baisse de l'ordre de 8% de la productivité moyenne. L'hiver 2010 est plutôt froid et pluvieux et le printemps est marqué par un épisode de sécheresse. Les débits des fleuves sont également impactés cette année, cependant, la baisse est sans commune mesure avec celle de 2011 et l'hypothèse d'une limitation de la quantité de nutriments apportés ne permet pas d'expliquer à elle seule la limitation trophique constatée sur certains sites. La dominance très marquée de vents d'Est faibles à modérés au printemps pourrait générer une circulation défavorable au développement et au maintien des efflorescences. En contrepartie, cette situation (débits et vents faibles) pourrait être favorable sur certains sites des Pertuis en permettant une limitation de la turbidité qui constitue une gêne à la filtration.

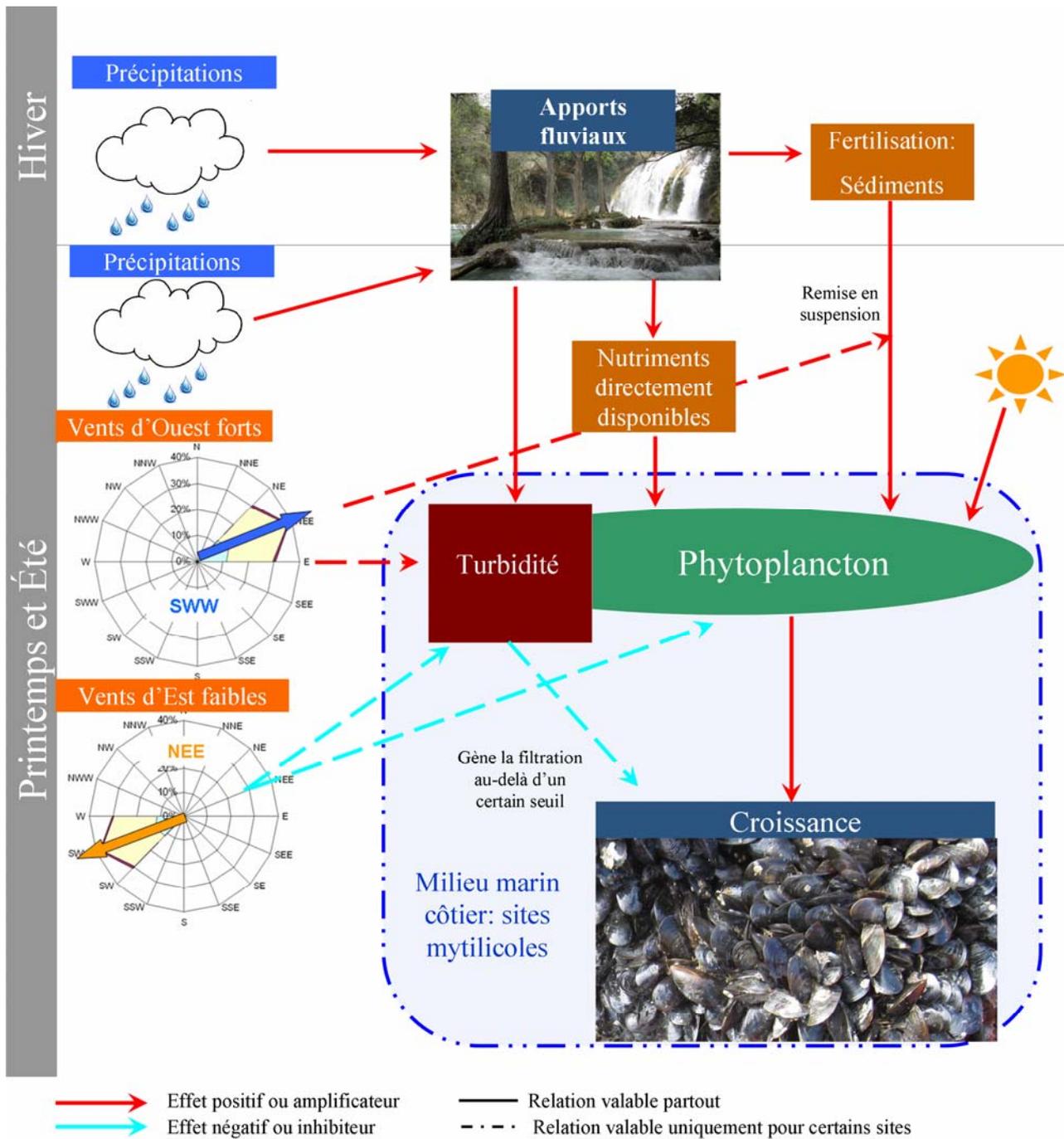


Figure 9.14: Effets des conditions climatiques des années 2007 à 2011 sur la croissance des moules (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

9.4 Effets des conditions climatiques sur le décrochage et la mortalité des moules adultes

Les différents éléments bibliographiques collectés semblent suggérer un lien entre l'état physiologique des moules, l'environnement et les événements de décrochages et de mortalités des adultes. Le caractère multifactoriel et le manque de données sur ces phénomènes complexifient néanmoins l'interprétation. Un complément d'étude s'avère nécessaire pour quantifier et expliquer ces événements.

La ponte entraîne un affaiblissement des individus. L'enchaînement avec des conditions environnementales défavorables pourrait déclencher des mortalités.

Aux Îles de la Madeleine, un lien a été établi entre l'augmentation de température de l'eau et les mortalités estivales (Myrand, 2000), mais aussi les décrochages (Lachance, 2008). Ces phénomènes apparaissent en été, à une saison où la disponibilité en nourriture est très faible et suivent systématiquement les pontes. D'autre part, dans les Pertuis charentais, Stéphane Robert (2003) a mis en évidence un phénomène de décrochage massif pendant l'été en lien avec des températures exceptionnellement élevées.

La conjonction de conditions environnementales stressantes (températures élevées et milieu appauvri), notamment pour des individus affaiblis par la ponte, semble pouvoir expliquer une recrudescence de mortalités et décrochages.

L'année 2011 réunit l'ensemble de ces caractéristiques, les pontes ayant lieu de la fin de l'hiver au printemps :

- La quantité de nourriture disponible au printemps et en été est exceptionnellement faible ;
- La température de l'eau est exceptionnellement élevée en lien avec les conditions caniculaires régnant durant le printemps 2011.

Concernant les décrochages, l'agitation du milieu semble également être un facteur essentiel: la force d'attachement (Price, 1982) et la production de byssus (Young, 1985) augmentent avec la turbulence : un fort coup de vent suivant une période de calme entraînera un décrochage massif. L'impact sera moindre si une agitation régulière (vagues, courant) a eu lieu au préalable.

Pour des milieux très euryhalins, des dessalures brutales peuvent bloquer la fabrication de byssus le temps que les enzymes s'acclimatent (Bohle, 1972 ; Young, 1985). Ce pourrait être le cas dans l'estuaire de la Vilaine certaines années (notamment en 2008).

Des variations brutales de salinité limitent aussi fortement la prédation par les étoiles qui sont sensibles aux dessalures. Les conditions de sécheresse exceptionnelles des hiver et printemps 2011 puis de l'automne 2011 ont favorisé leur maintien sur les sites de production. La prédation par les étoiles en 2011 a concerné plusieurs bassins : Baie de Vilaine, La Plaine et sites du large du Pertuis Breton avec des mortalités pouvant toucher 50% des moules d'un pieu (Rapport de la mission d'enquête DDTM Loire-Atlantique, 2011).

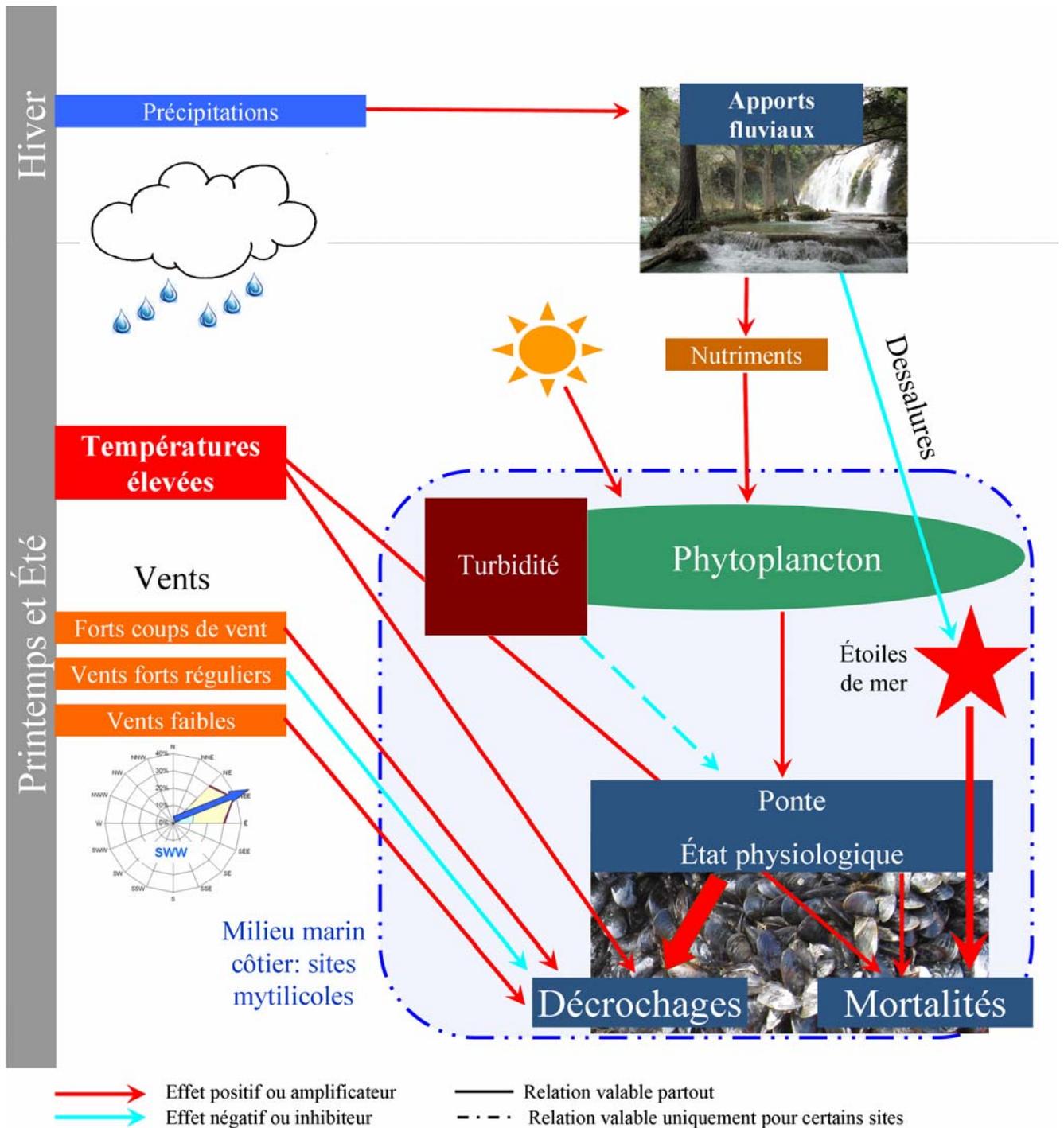


Figure 9.15: Effets supposés des conditions climatiques et environnementales des années 2007 à 2011 sur les phénomènes de décrochages et de mortalités de moules adultes (photos : J. Rodriguez, LER-MPL).

10. Perspectives

Dans le cadre de cette étude, les professionnels ont été interrogés quant aux formes que devrait prendre un suivi scientifique et technique de la mytiliculture (4-5).

Compte tenu du cadre de cette étude, les questions portant sur les aspects sanitaires et le maintien de la qualité des milieux d'élevage ne sont pas abordées ici. La mise en place d'un suivi des élevages en suspension n'est pas non plus traitée car les techniques à mettre en œuvre doivent être spécifiques.

L'intérêt pour un accompagnement portant sur la **zootechnie** est marqué. Cependant, la diversité des parcours zootechniques impose une approche régionale notamment pour les stratégies d'ensemencement.

Les questions portant sur la **gestion des bassins d'élevage** appellent également des réponses spécifiques à chaque site en utilisant certaines méthodologies déjà développées.

L'étude des **effets environnementaux** bien que citée régulièrement n'est pas identifiée comme prioritaire. Une majorité de mytiliculteurs souhaite comprendre les différences interannuelles de performances tout en soulignant que cette connaissance ne leur permettra pas nécessairement de produire mieux. Les impacts du changement climatique ont été évoqués plusieurs fois, la principale inquiétude concernant l'augmentation de l'acidité des océans et ses effets sur la production de coquille des bivalves. En forme de réponse à ces interrogations, seule une minorité pense qu'un **suivi pérennisé des performances mytilicoles** n'aurait pas d'intérêt.

Trois propositions sont faites pour tenter de répondre à ces attentes professionnelles, faciliter les études ou expertises futures et améliorer la gestion de l'activité par les services de l'état :

- élaboration d'un système d'information conchylicole
- études spécifiques
- mise en œuvre préalable à l'échelle pilote.

10.1 Système d'Informations Conchylicoles

A l'image du Système d'Informations Halieutique (SIH), il serait possible de mettre en place un Système d'Informations Conchylicoles à deux échelons :

- un observatoire des pratiques et des performances, sur la base de déclarations de professionnels et la mise en place d'un réseau d'observateurs ;
- un réseau d'observation mytilicole du même type que celui existant sur les huîtres (Resco).

10.1.1 Observatoire professionnel des pratiques et des performances

La réalisation d'un diagnostic de la conchyliculture ou une assistance à la gestion des zones conchylicoles doit être basée sur une analyse de l'information professionnelle. Une connaissance précise des productions et des méthodes culturales s'avère indispensable. Deux outils complémentaires peuvent être développés à cet effet.

Enquête nationale sur les performances

Dans le cadre de cette étude, la mise en place de l'enquête sur les performances a ainsi permis d'estimer l'évolution de la productivité sur 7 années, au moyen d'un questionnaire simple. Une généralisation de cette approche en se basant sur un réseau national d'observateurs professionnels constituerait un moyen simple et efficace de collecter les informations nécessaires à une meilleure gestion et à une amélioration

des pratiques. La pérennisation de ce suivi permettrait principalement d'appréhender la **variabilité interannuelle et inter-bassins** des performances.

Cependant, dans une version simplifiée, une telle enquête souffre de 3 insuffisances :

- elle permet difficilement de faire la part entre une évolution due aux pratiques culturelles ou aux changements environnementaux ;
- elle rend compte insuffisamment de la diversité des pratiques culturelles ;
- basée sur des enquêtes anonymes, elle ne permet pas de connaître la variabilité spatiale intra-bassin (à la fois très forte, mais également susceptible d'évoluer d'une année sur l'autre).

Les propositions suivantes (observateurs, réseau, études) tentent de pallier à ces 3 insuffisances et de proposer des éléments permettant d'interpréter les tendances observées.

Réseau d'observateurs professionnels

La mise en place d'un réseau d'observateurs professionnels volontaires permettrait de rendre compte de la **variabilité intra-bassin** mais aussi d'avoir une **connaissance précise des pratiques**³. Le développement d'une **base de données** destinée à la gestion et au suivi des stocks présenterait les avantages suivants :

- pour le professionnel, l'utilisation d'un outil adapté à ses besoins garantissant le suivi et la traçabilité des lots ;
- pour les techniciens et scientifiques, une connaissance précise des pratiques et des performances aux échelles spatiales et temporelles.

Dans ce cadre, la définition du niveau de confidentialité et l'élaboration d'un protocole de gestion des données sont essentielles.

10.1.2 Réseau de surveillance pérenne national

10.1.2-a Apports du réseau de surveillance standardisé

Ce type de suivi en condition standardisée doit permettre la réalisation de **comparaisons interannuelles reflétant les effets environnementaux**, mais s'affranchissant des effets liés à la zootechnie. La synthèse des demandes professionnelles (4-5) permet d'identifier certaines des questions auxquelles devrait répondre un dispositif pérenne de surveillance :

- Effets environnementaux (incluant le changement climatique) sur les performances mytilicoles : Réseau(x) mytilicole(s) et environnementaux (REPHY, DCE, DCSMM).
- Saisonnalité des croissances en chair et coquilles: Réseau(x) mytilicole(s) et études complémentaires (par augmentation de la fréquence d'échantillonnage).

³ Une démarche de ce type existe à St-Pierre et Miquelon dans le cadre des programmes d'accompagnement scientifiques et techniques de la pectiniculture. La collaboration entre l'Ifremer, une association de développement aquacole (ARDA) et une entreprise privée (EDC) permet d'analyser les performances de production à partir des données environnementales et zootechniques acquises (Rodriguez, 2009; Gouletquer, 2008).

- Une meilleure compréhension des composantes du rendement tout au long du cycle d'élevage: succès du captage, nombre de moules (survie), poids moyen, tailles individuelles. Une adaptation des protocoles des suivis existants sur le captage permettrait de mieux comprendre les phénomènes de décrochages du naissain sur les cordes.

Dans un contexte de changement climatique global, seul la mise en place de réseaux de surveillance pérennisés permettra de constater les évolutions et leurs conséquences :

- Conditions standardisées de suivi
 - . Surveillance de l'apparition de mortalités anormales
 - . Surveillance de la croissance
- Insertion d'un suivi du pH dans les réseaux environnementaux

La forme que devrait prendre un réseau pérenne de surveillance de la mytiliculture à l'échelle nationale doit s'inspirer des expériences préexistantes en Normandie (Remoulnor, Blin, 2004 & 2010) et en Poitou-Charente (Remoula, Robert, 2001 & 2007). Une analyse comparative de ces deux réseaux de suivi mytilicoles permettra d'optimiser un système à l'échelle nationale.

10.1.2-b Protocoles: techniques de suivi

Contrairement au réseau de suivi Resco, il est difficile de se calquer totalement sur les techniques d'élevage des professionnels. L'élevage en poches d'huîtres permet de maîtriser les densités initiales ce qui s'avère impossible à l'échelle d'un pieu.

Les réseaux Remoula et Remoulnor utilisent un système de suivis en pochons permettant un contrôle de la densité de moules en élevage et une évaluation des mortalités hors prédation. Ces techniques ont été développées dans les Pertuis par Dardignac Corbeil (1996) puis appliquées dans le cadre d'études et pour la mise en place des réseaux mytilicoles (Mazurié, 2001 ; Robert, 2001 ; Blin, 2004). Leur principal inconvénient est de ne pas être représentatives des conditions réelles d'élevage.

Le réseau Remoulnor (Blin, 2004) utilise en complément un suivi sur pieu témoin dont les résultats ont pu être exploités dans ce rapport. Ce type de suivi paraît intéressant pour la Normandie, cependant, l'existence de surcaptages massifs dans les bassins captants pourrait complexifier l'analyse des données.

Un bilan des avantages et inconvénients de ces deux techniques est présenté.

Suivi en pochons :

Avantages :

- Conditions contrôlées pour l'analyse de la croissance (pas d'effet des méthodes culturales et notamment d'effets densités).
- Permet de déceler une mortalité anormale.
- Pas de problèmes d'analyse liés au surcaptage.

Inconvénients :

- Conditions éloignées de celles des professionnels (bien que l'on ne souhaite pas mettre en avant les pratiques)
- Absence d'explication des composantes du rendement : densité finale et croissance. Un diagnostic indirect est possible dans certains cas car les croissances et mortalités sont mesurées (Robert, 2003).

Suivi sur pieux témoins :

Avantages :

- Conditions plus proches de celles des professionnels.
- Décomposition des composantes du rendement : densité finale et croissance.
- Mesure de la croissance en condition réelle d'élevage mais soumise aux effets densités (variables d'une année et d'un site à l'autre)

Inconvénients :

- Difficultés d'évaluation de la densité initiale.
- Surcaptage : distinction des cohortes délicate.
- Pratiques culturelles très variables d'un bassin à un autre

Ces deux systèmes de suivi fournissent des réponses complémentaires :

- le système pochon est bon un référentiel pour le suivi de la croissance et la mortalité hors prédation ;
- le système de pieu témoin permet un diagnostic à posteriori des composantes du rendement.

Cependant, les facteurs à l'origine de pertes de moules restent difficilement discernables (décrochages ou mortalités liées à la prédation).

Il paraît opportun d'utiliser ces deux techniques dans le cadre d'un réseau. L'utilisation de pieux témoins s'avérera cependant délicate dans le Golfe de Gascogne en raison du surcaptage de moules.

La gestion d'un système de **pieux témoins devrait être dans l'idéal basée sur une procédure d'élevage standard identique dans tous les bassins**. En pratique, cela paraît difficilement réalisable car le travail d'entretien est conséquent et les pratiques sont adaptées aux contraintes du site (prédation). Il pourrait être opportun d'ajuster les densités initiales posées pour minimiser les opérations de désépaulement et de catinage.

Dans l'étude de la variabilité des performances inter-bassin, il sera difficile de distinguer les effets environnementaux de ceux liés aux pratiques.

Une certaine standardisation peut cependant être apportée :

- date de pose constante,
- origine du lot constante et densité initiale estimée par échantillonnage,
- ajustement de la densité initiale sur pieu par la longueur de corde posée.

Sur chaque site suivi, 4 à 5 pieux témoins (selon la fréquence d'échantillonnage : 1 pieu/passage) pourrait être ainsi garnis et marqués. Leur entretien serait assuré simultanément à celui des autres pieux par le concessionnaire.

10.1.2-c Protocoles: choix des sites suivis

A moins de multiplier l'effort d'échantillonnage de façon considérable, il apparaît impossible d'avoir une vision spatialisée et générale des performances en utilisant un réseau de ce type. C'est l'observatoire professionnel proposé dans la partie 10.1) 1 qui doit permettre d'acquérir ce type d'informations. Le réseau doit apporter des éléments d'interprétation des rendements professionnels.

Une question apparaît essentielle dans le choix de l'implantation des stations de suivi : doivent-elles être représentatives des performances d'un bassin d'élevage ou des conditions environnementales ?

Il semble plus opportun au premier d'abord de choisir un site représentatif des performances d'élevage. Dans ce cas, les performances observées dépendront du niveau bathymétrique et de la compétition trophique. D'autre part, il apparaît que les performances mytilicoles intra-bassin sont susceptibles d'évoluer d'une année sur l'autre (Pertuis, Vilaine).

Dans le réseau Remoula (Robert, 2001), le choix a porté sur une représentativité environnementale. Les sites choisis sont, dans la mesure du possible, localisés en bordure d'attaque des bouchots et à un niveau bathymétrique proche.

Si l'objectif du réseau est d'analyser l'effet des facteurs environnementaux sur les composantes du rendement, c'est ce choix qui doit être privilégié. Dans l'idéal, le site suivi sera alors localisé à proximité d'un point de suivi REPHY pour pouvoir disposer de données environnementales et limiter certains coûts opérationnels.

Si le réseau doit refléter les performances professionnelles, il serait préférable de choisir un pieu localisé au milieu d'un site d'élevage. Dans ce cas, les tendances observées seront aussi le reflet d'effets « sites » complémentaires : déplétion trophique au sein des bouchots et durée d'exondation. Le choix des bassins et des sites les plus représentatifs doit alors faire l'objet d'une réflexion et d'une étude préalable. Dans le cas où un observatoire professionnel serait mis en place, cet objectif deviendrait moins prioritaire.

10.1.2-d Protocoles: cohérence avec les cycles d'élevage

La cohérence avec les cycles d'élevage professionnels est essentielle. Le démarrage du suivi en pochon prévu en 2013 a été décalé à septembre pour permettre de disposer de moules suffisamment grosses tout en suivant la même cohorte que celle élevée par les professionnels.

Le démarrage du suivi pieu trois mois plus tôt (juin), permettrait de réaliser un prégrossissement des moules destinées au pochons tout en assurant un échantillonnage sur 15 mois (de juin N à septembre N+1) : on évaluerait ainsi les rendements saisonniers sur une période qui coïncide avec les phases d'élevage.

Une partie non négligeable du cycle d'élevage se déroule sur les « chantiers » à naissain. Dans le Golfe de Gascogne, la durée de stockage est limitée à la période estivale mais elle peut se poursuivre jusqu'en décembre dans certains secteurs. Cette phase n'est pas prise en compte dans les réseaux existants. Pour pouvoir mieux comprendre les phénomènes de décrochages et de mortalités du naissain, un suivi sur chantier pourrait être envisagé durant les périodes où le risque de dessiccation est accru (printemps et été). Les modalités de ce suivi doivent être définies mais pourraient inclure une évaluation mensuelle de la densité et de la croissance individuelle du naissain.

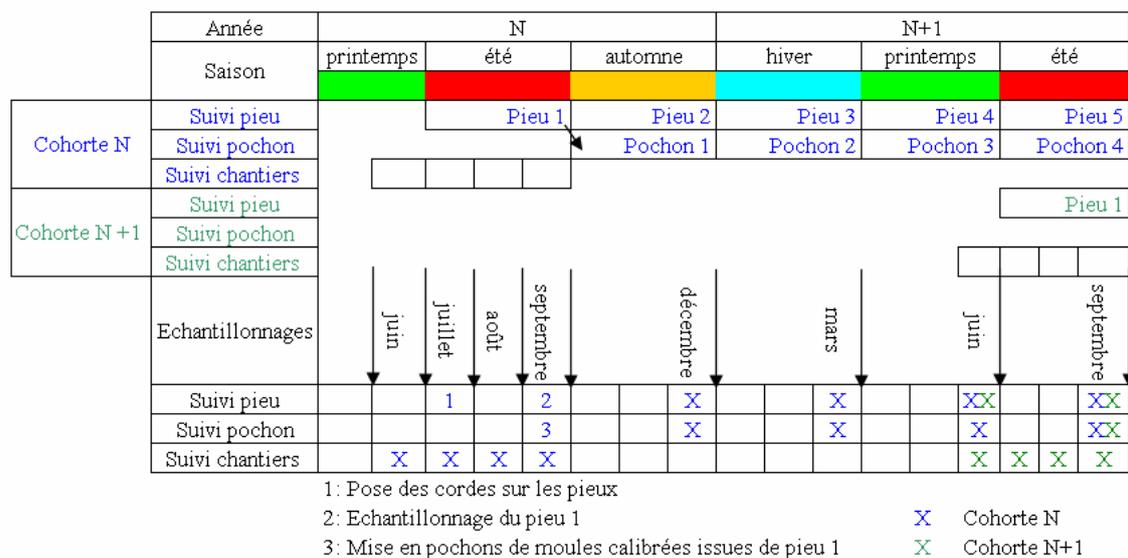


Figure 10.1: Exemple de planning pour un suivi de pieux, pochons et chantiers en conditions standardisées.

10.12-e Protocoles: effets « lots »

Dans le réseau Resco, plusieurs origines de naissain sont utilisées dans les suivis. Un effet origine peut être ainsi évalué. Jusqu'en 2009, le réseau Remoulnor en Normandie effectuait un suivi sur un triplicat de pieux en utilisant trois origines de naissain : Oléron, Noirmoutier, La Plaine. Dans l'idéal, il conviendrait d'évaluer cet effet « lot » dans le cadre de la mise en place d'un réseau pérenne. Compte tenu de l'effort nécessaire, cet objectif ne semble pas prioritaire en l'état.

10.1.3 Complémentarité de l'observatoire professionnel et du réseau standardisé

Les deux niveaux d'informations identifiés (réseau et observatoire professionnel) sont indissociables pour permettre une analyse rétrospective des performances de production.

Dans la figure 10.2 sont présentés les acquis des deux systèmes proposés dans l'évaluation des performances mytilicoles et les éléments qui en permettent le diagnostic.

		Evaluation des performances			Eléments de diagnostic				
		Spatiale		Temporelle	Pratiques culturelles	Composantes du rendement			
		inter-bassin	intra-bassin			Croissance	Mortalités hors prédation	Décrochages	Mortalités par prédation
Observatoire professionnel	Enquêtes annuelles	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
	Réseau d'observateurs	~ *	Oui *	Oui	Oui *	Non	Non	Non	Non
Réseau de surveillance	Pieux témoins	~ **	Non	~ ***	Non	Oui *	Densités initiales et finales = connaissance des pertes		
	Systèmes pochons	~ **	Non	Non	Non	Oui **	Oui **	Non	Non

* Dépendra du nombre d'observateurs

* Croissance dépendante d'autres facteurs (densité...)

** Dépendra de la représentativité du site de suivi choisi

** Evaluation interannuelle standardisée

*** Dépendra du protocole élaboré

Figure 10.2: Acquis des systèmes d'observation de l'observatoire professionnel et du réseau standardisé pour l'évaluation des performances et leur analyse rétrospective

10.2 Études sur des questions spécifiques

Plusieurs sujets de préoccupation des professionnels ne peuvent pas trouver réponse sans recours à des études spécifiques. En particulier :

- une évaluation de la capacité trophique devrait être réalisée sur les bassins mytilicoles dont les performances apparaissent sub-optimales.

- les questions sur la zootechnie peuvent être abordées par la réalisation d'essais *in situ* (échelle régionale).
- les mortalités liées à la prédation et les décrochages pourraient être quantifiées par la réalisation d'études *in situ*. Le déterminisme des phénomènes de décrochage est complexe car multifactoriel. La réalisation d'expériences en conditions contrôlées permettrait de mieux les appréhender.

10.3 Mise en œuvre à échelle pilote de ces propositions

La mise en œuvre de ces propositions à échelle pilote, sur deux sites, pendant au moins une année permettrait de les optimiser (méthodologie, indicateurs...) avant généralisation.

- Acquis des réseaux régionaux de suivi mytilicoles.

Cette approche comparative portant sur deux bassins mytilicoles éloignés (Normandie et Pertuis) permettra **d'évaluer l'apport d'outils existants dans la compréhension des performances d'élevage.**

- Élaboration et test de nouvelles méthodes de suivi sur le naissain et les moules adultes.

Il s'agit de concevoir et tester les méthodes les plus efficaces pour évaluer notamment :

- . Les composantes du rendement (nombre de moules, poids moyen, tailles individuelles)
- . Les effets du décrochage et de la prédation

Il serait ainsi possible d'élaborer des protocoles optimisés pour la mise en place d'un réseau pérenne et la réalisation d'études complémentaires.

11. Conclusion

Cette étude d'une durée de dix mois a permis d'éclairer les interactions entre l'environnement, les pratiques culturelles, les performances d'élevage, et plus spécialement d'identifier les principaux problèmes grâce à l'usage complémentaire de plusieurs types de sources :

- des observations et des informations professionnelles ;
- des données bibliographiques sur l'historique des pratiques d'élevage et le déterminisme des performances mytilicoles ;
- des données environnementales et biologiques collectées au travers des réseaux existants ;
- des données climatiques et environnementales issues de mesures, de modèles et des satellites d'observation.

La variabilité spatiale des performances est liée aux caractéristiques environnementales et culturelles propres aux bassins mytilicoles. La richesse trophique d'un site dépend essentiellement de l'importance des apports fluviaux qui déterminent le caractère océanique ou estuarien d'un bassin d'élevage.

Les productions à l'hectare d'un bassin semblent dépendre de sa capacité trophique, mais les rendements par pieu ensemencé peuvent aussi refléter les effets de certaines pratiques. Celles-ci semblent adaptées au degré d'intensification du bassin et à l'environnement, le mode d'ensemencement étant essentiellement lié à la disponibilité locale en naissain de *Mytilus edulis*. Des stratégies culturelles antagonistes peuvent apparaître en fonction d'une volonté d'optimiser le travail ou la surface disponible.

La production à l'hectare est limitée par la disponibilité en nourriture dans une majorité de bassins. Pour certains sites très estuariens, c'est une turbidité trop importante qui peut constituer un facteur limitant.

L'analyse des résultats d'enquête montre une évolution quasi-concomitante de la production des bassins mytilicoles entre 2007 et 2011 de la Normandie aux Pertuis charentais. 2007 et 2008 sont des années marquées par un gain de productivité alors qu'en 2010 et 2011, une baisse généralisée des productions est constatée.

Plusieurs problèmes conjoncturels semblent expliquer cette baisse de productivité :

- un déficit de croissance qui contribue fortement aux tendances observées
- des pertes par décrochage ou mortalités en lien notamment avec une recrudescence de la prédation sur certains secteurs.

Le traitement des données environnementales a permis de mettre en évidence un déficit trophique expliquant les baisses de croissance des années 2010 et 2011.

En 2011, des conditions de sécheresse marquées ont un impact sur le débit des fleuves limitant ainsi fortement les apports en nutriments nécessaires au développement du phytoplancton.

En 2010, la sécheresse du printemps n'explique pas à elle seule un moindre développement des efflorescences. La dominance de vents d'Est crée sur certains sites des conditions défavorables au développement et au maintien du phytoplancton.

En 2011, les phénomènes de décrochages et de mortalités des moules adultes pourraient être liées à la conjonction de facteurs physiologiques et environnementaux défavorables. Les conditions climatiques ont de plus permis une recrudescence d'étoiles de mer sur certains sites.

Les problèmes de captage et de décrochage du naissain rencontrés font l'objet d'un déterminisme complexe qui demandera un complément d'étude.

Un éventuel réseau d'observation national devra être suffisamment intégrateur pour permettre d'évaluer les facteurs intervenant dans le déterminisme des performances d'élevage. De nouvelles méthodes de suivi doivent être élaborées pour pouvoir mesurer les effets de phénomènes difficilement quantifiables tels que la prédation ou les décrochages.

Bibliographie

- Allen. J. A., Cook. M., Jackson. D. J., Preston, S., Worth, E. N. (1976).** Observations on the rate of production and mechanical properties of the byssus threads of *Mytilus edulis* L. J. Mollusc. Stud. 42: 279-289
- Arifin Z., Bendell-Young L.I. (2001).** Cost of selective feeding by the blue mussel (*Mytilus trossulus*) as measured by respiration and ammonia excretion rates. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 260 (2001) 259-269
- Basuyaux O., Forêt M., Chataigner C. (2011).** Étude et cartographie de *Mytilicola intestinalis* sur les côtes du département de la Manche. SMEL – Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral.
- Bierne N. (2001).** Barrières au flux génique en milieu marin : Sélection et dispersion larvaire dans la zone d'hybridation des moules côtières *Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis*. Thèse de l'Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc.
- Blin JL. (2010).** Suivis de la production mytilicole Bas-Normande, Résultats 2004-2007. SMEL – Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral.
- Blin JL., Pien S., Richard O. (2004).** Étude de validation d'outils méthodologiques en vue de la mise en place d'un réseau de suivi de la production mytilicole Bas-Normande. SMEL – Syndicat Mixte pour l'Équipement du Littoral.
- Bezin F. (2011).** Analyse des stratégies d'élevage des entreprises mytilicoles de la côte ouest du Cotentin. Rapport de stage de Master II Aquacoen, Unicaen, réalisé à l'Ifremer Laboratoire Environnement Ressources Normandie.
- Blateau D., Le Coguic Y., et al. (1992).** Mussel (*Mytilus edulis*) treatment against the red copepod *Mytilicola intestinalis*. *Aquaculture*, 107 (1992) 165-169.
- Bohle, B. (1972).** Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis* L.). J. exp. mar. Biol. Ecol. 10: 4147
- Bos O.G., Hendriks I.E & al. (2006).** Estimation of food limitation of bivalve larvae in coastal waters of north-western Europe. Journal of Sea Research [Volume 55, Issue 3](#), April 2006, Pages 191–206
- Bougis P. (1967).** Le Plancton. « Que sais-je ? », Presses Universitaires de France, N°1241, 1967.
- Bouquet A. L., Geay A. (2011 & 2012).** Suivi de la reproduction et du captage de la moule *Mytilus edulis* en Charente-Maritime. <http://www.creaa.fr/>
- Cayocca F., Bassoullet P., Le Hir P., Jestin H., Cann P., 2008.** Sedimentary processes in a shellfish farming environment, Mont-Saint-Michel Bay, France. In Sediment and Ecohydraulics: INTERCOH 2005. T Kusuda, H Yamanishi, J Spearman and J.Z Gailani (Editors) 2008, Elsevier 431-446.
- Chauvin J. (1993).** La mytiliculture en Baie de Vilaine – Aspects socio-économiques. Situation sanitaire des zones d'élevage (Année 1988). R.INT.DEL/93.02/La Trinité sur Mer.
- Chalmin Sonia (1997).** Impact de la détérioration de la qualité des eaux sur la mytiliculture. Mémoire de fin d'études (DEA), École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Département environnement et exploitation des ressources naturelles

Cassou C. (2004). Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. La Météorologie – n°45 – mai 2004.

Cousteau C., Delay B. (1988). Études parasitologiques (Bucephalidae) et génétique des populations de moules élevées sur filières en Bretagne. Université de Montpellier Sciences et Techniques, Laboratoire de parasitologie comparée.

Cousteau C., Combes C., Maillard C., Renaud F., Delay B. (1990). *Prosorynchus squamatus* (Trematoda) parasitosis in the *Mytilus edulis* – *Mytilus galloprovincialis* complex: specificity and host-parasite relationships. Pathology in marine science, Proceedings of the Third International Colloquium on Pathology in Marine Aquaculture, Gloucester, October 2-6, 1988. 291-298.

Cugier P., Frangoudes K., Blanchard Michel, Mongruel Remi, Perez Jose, Le Mao Patrick, Robin T., Fontenelle Guy, Mazurie Joseph, Cayocca Florence, Pouvreau Stephane, Olivier F. (2010). Impact des facteurs environnementaux et des pratiques conchylicoles sur la baie du Mont Saint-Michel et la production conchylicole. Étude de scénarii par modélisation. Programme Liteau 3. Rapport Final.

Daniel Gaële. (2000). La filière mytilicole française : analyse économique de la première mise en vente à la consommation. Mémoire de fin d'études, Institut National Agronomique Paris-Grignon.

Dardignac-Corbeil M.J., Mazurié J., (1989). Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1988. Rapport interne DRV-89.018 – RA/L'Houmeau

Dardignac-Corbeil M.J. (1994). Estimation des biomasses de moules (*Mytilus edulis* L.) en élevage dans les bouchots du Pertuis Breton. Évolution entre 1988 et 1993 - Rapport interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'Ifremer – RIDRV 94-14 RA/ L'Houmeau

Dardignac-Corbeil M.J. (1996). La Mytiliculture dans le Pertuis Breton – synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992. Rapport interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'Ifremer – RIDRV 96-10 RA/ L'Houmeau

Dardignac-Corbeil, M.J., & Prou, J.. (1995). A propos des problèmes de captage de naissain de moules (*Mytilus edulis* L.) dans le Pertuis Breton de 1989 à 1991 : Observations préliminaires. *Haliotis*, 24, 13–31.

Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Loire-Atlantique (26 décembre 2011). Rapport de la mission d'enquête sur les mortalités de moules dans l'estuaire de la Loire (zone de production 44.10).

Dussauze M. (2011). Simulation de l'effet d'une variation réaliste des apports azotés et phosphorés de la Loire et de la Vilaine sur la production primaire dans la zone Loire/Vilaine. RST DYNECO/EB/11 – 05/AM.

Farell, E. D., Crowe T. P. (2007). The use of byssus threads by *Mytilus edulis* as an active defence against *Nucella lapillus*. *J. Mar. Biol. Ass U.K.* (2007), 87, 559-564

Fuentes J., Villaba A., Zapata C., Alvarez G. (1995). Effects of stock and culture environment on infections by *Marteilia refringens* and *Mytilicola intestinalis* in the mussel *Mytilus galloprovincialis* cultured in Galicia (NW Spain). *Dis. Aquat. Org.* Vol. 21: 221-226, 1995

Gasquet R. (1996). Historique et évolution de la conchyliculture dans la Baie du Mont Saint-Michel. Mémoire de fin d'études, Institut National Agronomique Paris-Grignon.

Garen P., Robert S., Bougrier S. (2004). Comparison of growth of mussel, *Mytilus edulis*, on longline, pole and bottom culture sites in the Pertuis Breton, France. *Aquaculture* 232 (2004) 511-524

- Gerard D. (2002).** Estimation du stock de moules sur bouchot dans la Baie du Mont Saint-Michel. Rapport de stage, Université de Bretagne Sud, réalisé à l’Ifremer LER/MPL.
- Gerla D. (1990).** Exemple de gestion d’un bassin mytilicole, la Baie du Mont Saint-Michel. RIDRV - 90.2S-CSRU/ St Malo
- Gerla D., Le Mao P. (1989).** Étude de la salubrité de la partie Est de la Baie du Mont Saint-Michel. RIDRV-90.01-CSRU/ St-MALO
- Gerla D., Le Mao P. (1998).** Étude sur la salubrité de la partie Est de la Baie du Mont Saint-Michel. Ifremer - Direction de l’Environnement et de l’Aménagement littoral - Laboratoire de St-Malo.
- Glaus, K. J. (1968).** Factors influencing the production of byssus threads in *Mytilus edulis*. Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole 135: 420
- Gohin F. et al. (2008).** Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations. Remote Sensing of Environment, August 2008, Volume 112, Issue 8, Pages 3329-3340
- Gouletquer P., Robert S., Lazure P., Caisey X., Guesdon S., Le Moine O., Rodriguez J. (2008).** Contribution au développement de la filière aquacole à St Pierre & Miquelon - Rapport IFREMER 2008 - Contrat ODEADOM-Ifremer - Convention 2008 N°2008-005/04.
- Grant J., Bacher C. et al. (2008).** A spatially explicit ecosystem model of seston depletion in dense mussel culture. Journal of Marine Systems 73 (2008) 155–168
- Guillaud, J.-F., Aminot, A., Delmas, D., Gohin, F., Lunven, M., Labry, C., and Herbland, A. (2007).** Seasonal variation of riverine nutrient inputs in the northern bay of Biscay (France), and patterns of marine phytoplankton response, Journal of Marine Systems, 72, 309-319, 10.1016/j.jmarsys.2007.03.010, 2008.
- Hurrell, J. & National Center for Atmospheric Research Staff. (2012).** "The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (PC-based)." Retrieved from <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>.
- Jahier, A., Basuyaux, O. (2001).** Evaluation de la prédation des perceurs dans les bassins ostréicoles en Basse-Normandie. Rapport SMEL, 37p. SMEL – Syndicat Mixte pour l’Équipement du Littoral.
- Jeanneaux P., Perrier-Cornet P. (2008).** Les conflits d’usage du cadre de vie dans les espaces ruraux et la décision publique locale, Éléments pour une analyse économique - Économie rurale, 2008, n°306, p39-54
- Kopp J., Joly J-P. & al. (1998).** Atouts et contraintes de la conchyliculture normande – 1- La Côte Ouest du Cotentin. Rapport Ifremer – DRV / RA / RST / 98-03 Port-en-Bessin.
- Lachance A., Myrand B., Tremblay R. & al. (2008).** Biotic and abiotic factors influencing attachment strength of blue mussels *Mytilus edulis* in suspended culture. Aquatic biology. Vol 2: 119-129
- Le Grel L ; Philippe M. (2003).** Etude d’évaluation du développement de la conchyliculture de l’estuaire de la Vilaine. Rapport final, Convention IAV-OIKOS.
- Le Moine O. & al. (2002).** Évaluation des stocks Mytilicoles des Pertuis Charentais – évolution de 1997 à 2001. Rapport Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes.

- Le Moine O. & al. (2002).** Élaboration d'une technique d'évaluation des stocks conchylicoles. Automatisation partielle et méthode simplifiée à l'usage de la profession. Rapport Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes.
- Le Moine O., Bernard I., Soletchnik P. (2013).** Gestion des élevages conchylicoles : approche de la dépendance spatiale des sites par leur connectivité. Journées Conchylicoles d'Ifremer – Roscoff 23-25/01/13 - Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes.
- Leonard M. (2004).** Évaluation et caractérisation de la chute de moules (*Mytilus edulis*) dans la lagune de Havre-aux-Maisons aux Îles de la Madeleine, Québec. Mémoire de fin d'études ENITA Clermont-Ferrand. 68 p.
- LER-FBN (2012).** Qualité du milieu marin littoral – Bulletin de la surveillance 2011 – Départements Ille-et-Vilaine et Côtes d'Armor – RST/LER/FBN -12-004-DN
- LER-MPL (2012).** Qualité du milieu marin littoral – Bulletin de la surveillance 2011 – Départements Morbihan – RST/LER/MPL -12-06
- LER-N (2012).** Qualité du milieu marin littoral – Bulletin de la surveillance 2011 – Départements Seine-Maritime, Eure, Calvados et Manche – RST/LERN/12-03
- LER-PC (2012).** Qualité du milieu marin littoral – Bulletin de la surveillance 2011 – Départements de Charente-Maritime et de Vendée (sud) – RST/LER/PC/12-01
- Maheo R. (1970).** Étude de la pose et de l'activité de sécrétion du byssus de *Mytilus edulis*. L Cah. Biol. mar. 11: 475-483
- Martella T. (1974).** Some factors influencing byssus thread production in *Mytilus edulis* (Molluscs: Bivalvia) Linnaeus 1758. Wat. Air Soil Pollut. 3: 171-177
- Mazurié J., Bouget J-F., et al. (2001).** Comparaison des performances d'élevage de moules en 4 sites mytilicoles de la baie de Vilaine de février 2000 à février 2001. DRV/RST/RA-2001-04 – Ifremer/DEL/Trinité.
- Mazurié J., Thomas Y., Bouget J-F. (2004).** Étude de la croissance des moules en Baie du Mont Saint Michel à partir de la récolte de 15 pieux tous les 2 mois. Rapport interne RA/LCB/2004-03
- Mazurié J., Bouget J-F., Thomas Y. (2005).** Croissance et production mytilicole en Baie du Mont Saint Michel après restructuration. Rapport interne RST/LER-MPL/05-10
- Mazurié J. (2012).** Avis relatif à la cause de mortalités des moules en élevage dans le secteur de la Plaine-sur-mer (44). Avis Ifremer LER/MPL/12.011/Tm – Laboratoire Environnement Ressources Morbihan – Pays de la Loire.
- Myrand B., Guderley H., Himmelman J.H. (2000).** Reproduction and summer mortality of blue mussels *Mytilus edulis* in the Magdalen Islands, southern Gulf of St. Lawrence Marine Ecology Progress Series (2000) - Volume: 197, Publisher: Inter-Research, Pages: 193-207
- Mongruel Remi, Thebaud Olivier (2006).** Externalities, institutions and the location choices of shellfish producers: the case of blue mussel farming in the Mont Saint Michel Bay (France). *Aquaculture Economics & Management*, 10(3), 163-181. Publisher's official version
- Muller E.B., Nisbet R.M. (2000).** Survival and Production in Variable Resource Environments. *Bulletin of Mathematical Biology* (2000) **62**, 1163-1189

- Nogues L., Gangnery A. (2008).** Évaluation des stocks mytilicoles de Basse-Normandie en 2006. Ifremer/LERN
- Newell R.I.E., Hilbish T., & al. (1982).** Temporal variation in the reproductive cycle of *Mytilus edulis* L. (Bivalvia, Mytilidae) from localities on the East Coast of the United States. Biol. Bull. **162**: 299-310 (June 1982).
- Orbi Abdellatif (1986).** Circulation de marée dans le golfe Normand-Breton. Contrat UBO-Ifremer 84/7480
- Paulmier G. (1972).** Seston – Phytoplancton et microphytobenthos en rivière d’Auray, leur rôle dans le cycle biologique des huîtres (*Ostrea edulis* L.). Revue des Travaux de l’Institut des Pêches Maritimes (0035-2276) (ISTPM), 1972-12, Vol. 36, N. 4, P. 373-506
- Paquette P. (1995).** Le marché de la moule en France: évolution de l’offre et de la demande. *VIIIèmes Rencontres interrégionales de l’AGLIA*.
- Perez Agundez J., Mongruel R, Girard S. et Cochet J.M. (2010).** Viabilité économique des procédés de sauvegarde et détoxification accélérée de coquillages cultivés face aux efflorescences de microalgues toxiques. Publications électroniques Amure – Série Rapport N° R-16-2010
- Picoron N., Robert S. (2006).** Suivi de la gamétogénèse de la moule bleue sur deux sites d’élevage du Pertuis Breton (Aiguillon et Filière) pendant l’année de la canicule (2003). Comparaison avec une année normale (2004). Rapport de stage, Université Paul Sabatier IUT « A », Département Génie Biologique.
- Price, H. A. (1980).** Studies on the production and function of the byssus complex of *Mytilus edulis* L. Ph. D. thesis, University of Wales
- Pelvin C. (2000).** Aptitude de quatre tests simples à qualifier la vitalité de moules soumises à des épreuves graduées. Mémoire de l’Université de Bretagne-Sud réalisé à l’Ifremer LER/MPL.
- Reid P.C., Valdés L. (2011).** ICES status report on climate change in the North Atlantic. ICES Cooperative Research Report, N°310, September 2011.
- Robert S., Geairon P., Guilpain P., Razet D., Faury N., Grizon J., Soletchnik P., Le Moine O., Gouletquer P. (2001).** REMOULA 2000. Réseau de Croissance Moule des Pertuis Charentais. Mars 2000 - Février 2001. Rapport Ifremer, 40 p.
- Robert S., O. Le Moine et al. (2003).** Expertise des élevages de moules après la canicule estivale : rapport préliminaire. 15p.
- Robert S., Soletchnik P., Le Moine O., Zanker S. (2007).** Bilan d’étude sur la croissance de la moule (*Mytilus edulis*) sur bouchots et filières dans les Pertuis Charentais entre 2000 et 2005. Réseau REMOULA. Rapport Ifremer, 34 p.
- Robert S. (2011).** Compte rendu de la Commission départementale d’enquête – calamités conchylicoles – du 2 septembre 2011. Avis Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais.
- Robert S. (2011).** Éléments d’analyse du déficit de croissance des moules de bouchots des pertuis charentais. Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais.
- Rodriguez J., Detcheverry S., Dromer C. (2009).** Rapport d’activités 2008 de l’Association de Recherche et Développement de l’Aquaculture à Saint Pierre et Miquelon.

- Robert M., Olivési R. (2002).** État de l'activité mytilicole sur le secteur de Quend-Plage (Picardie). Rapport Ifremer, Direction des Ressources Aquacoles, Laboratoire Conchylicole de Normandie Port-en-Bessin. DRV/RA/RST/2002-01
- Rougerie M., Gerla D., Le Mao P. (1991).** Qualité des moules d'Ille-et-Vilaine et des Côtes d'Armor. Ifremer – DEL/St-Malo – 91.03.
- Rouillon G., Navarro E. (2003).** Differential utilization of species of phytoplankton by the mussel *Mytilus edulis*. *Acta Oceanologica* 24 (2003) S299-S305
- Senechal C. (2012).** Utilisation des images satellitaires pour simuler la sensibilité des populations benthiques aux changements environnementaux à l'échelle de la Manche et de la mer du Nord. Mémoire de Master 2, Université Pierre et Marie Curie.
- Soletchnik P., Robert S., Le Moine O. (2013).** Suivi expérimental de la croissance de la moule, *Mytilus edulis*, sur les bouchots des Pertuis Charentais entre 2000 et 2010. Étude des performances de croissance en liens avec l'environnement des élevages. Année 2013 – R.INT ; ODE / LER / LERPC 2013
- Thomas Y. (2004).** Etude de la croissance de *Crassostrea gigas* (Th.) et *Mytilus edulis* (L.) en Baie du Mont Saint-Michel et modélisation de la dynamique de population des moules cultivées sur bouchot. Mémoire de stage de DEA, Université de la Rochelle, réalisé à l'Ifremer LER/MPL.
- Thomas Y., Mazurie J., Alunno-Bruscia M., Bacher C., Bouget J.F., Gohin F., Pouvreau S., Struski C. (2011).** Modelling spatio-temporal variability of *Mytilus edulis* (L.) growth by forcing a dynamic energy budget model with satellite-derived environmental data. *Journal Of Sea Research*, 66(4), 308-317.
- Toro J.E., Paredes P.I., Villagra D.J. (1999).** Phytoplankton distribution and oyster, *Ostrea chilensis* (Philipi 1845), growth at Putemun Channel, southern Chile. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1999, Vol. 33: 499-513
- Van Winkle, W. Jr. (1970).** Effect of environmental factors on byssal thread formation. *Mar. Biol.* 7: 143-148
- Vested H.J., Bo Brahtz C., et al. (2009).** Modélisation numérique hydrodynamique de l'estuaire de la Vilaine, Phase 5: Exploitation du modèle et synthèse de l'étude hydrodynamique. Rapport – Institut d'Aménagement de la Vilaine (IAV).
- Waite L., Grant J., Davidson J. (2005).** Bay scale spatial growth variation of mussels *Mytilus edulis* in suspended culture, Prince Edward Island, Canada. *Mar Ecol Prog Ser*, Vol. 297: 157-167, 2005
- Widdows, J., Bayne, B. L. (1971).** Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 51: 827-843 Witman, J. D., Suchanek, T. H.
- Young, G.A. (1985).** Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24: 261-271