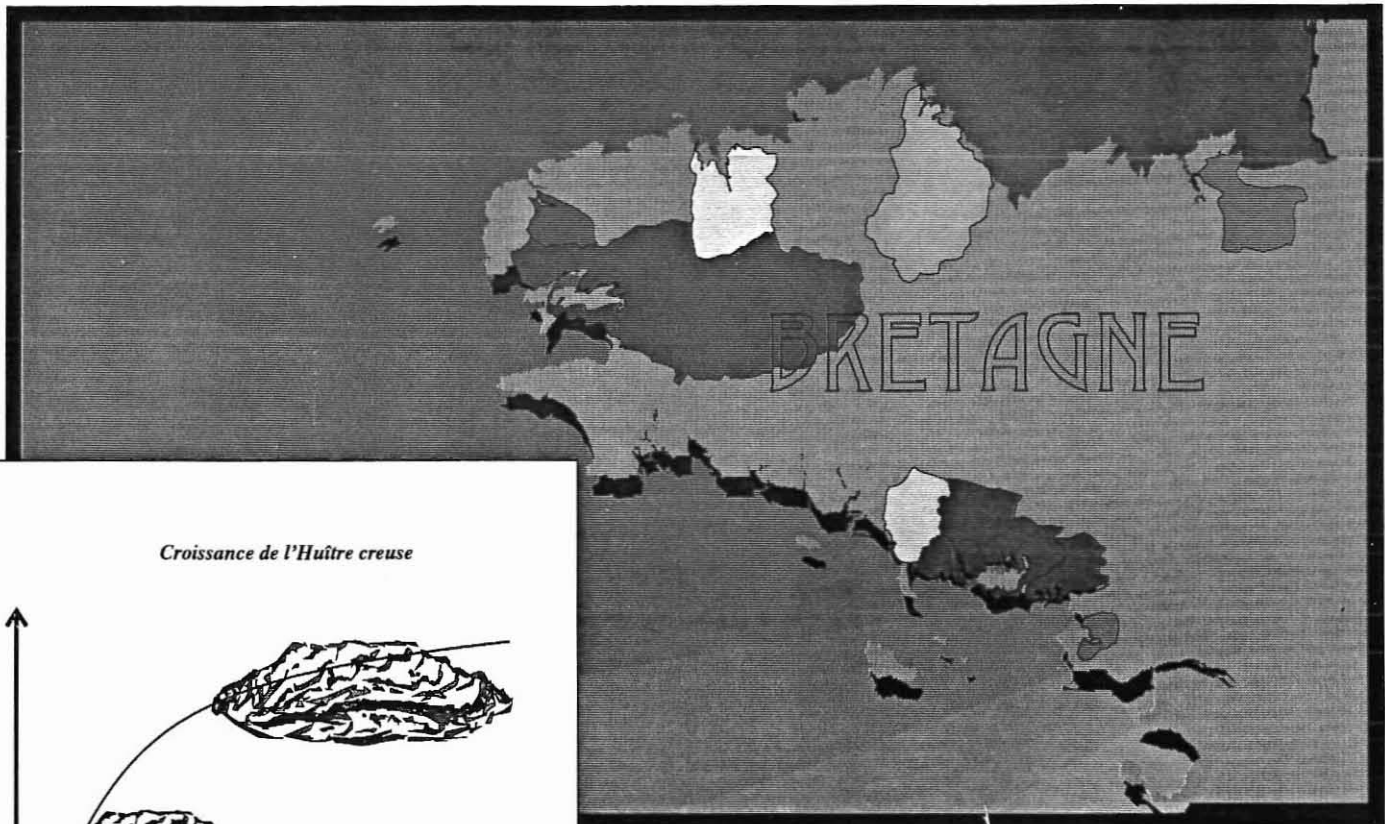


**Déterminisme de la croissance de l'huître creuse,  
*Crassostrea gigas*, en Bretagne :**  
*Méthodologie d'élaboration d'un modèle global.*



*Octobre 1993*

**Jean-Marc DORMOY**

**Mémoire d'ingénieur Agro-Halieupe  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES**

RIDRV 95/26 RA-La Trinité/Mer

# INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Adresse :  
**IFREMER**  
**12, rue des Résistants**  
**B.P.86 - 56470 LA TRINITE/MER**

**DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES**  
**DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES**  
**STATION / LABORATOIRE : LA TRINITE SUR MER**

<b>AUTEUR (S) : Jean-Marc DORMOY</b> avec la collaboration de : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes - E.N.S.A.R. 65, rue de Saint-Brieuc - 35402 Rennes Cedex Chaire : Halieutique Professeur : Jean-Yves Le Gall		<b>CODE :</b>  <b>RIDRV - 95-26</b>
<b>TITRE :</b>  Déterminisme de la croissance de l'huître creuse, <i>Crassostrea gigas</i> , en Bretagne : méthodologie d'élaboration d'un modèle global		Date : décembre 1995 Tirage en nombre : 40 Nb pages : Nb figures : Nb photos :
<b>CONVENTION</b> (intitulé)  N°		<b>DIFFUSION</b>  libre <input checked="" type="checkbox"/> X restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

## RESUME :

Quatre années de suivi de la croissance de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, dans dix des principaux sites de production de Bretagne (1989 à 1992), ont fourni matière à une tentative d'explication des différences entre sites et années successives. Les modèles déterministes de croissance ne sont pas applicables en l'état, pour des raisons méthodologiques et pratiques. Ils établissent cependant les bases conceptuelles d'un modèle global, en identifiant les descripteurs environnementaux pertinents pour une explication statistique des performances conchyliques. L'étude présentée ici propose une méthodologie pour l'élaboration d'un modèle statistique global inspiré des principaux processus écologiques et biologiques contrôlant la production ostréicole. Ces propositions tiennent compte des contraintes des modèles déterministes, mais aussi des limites inhérentes à l'utilisation de résultats environnementaux provenant de réseaux existants d'étude et de suivi du milieu. Elles participent enfin à l'élaboration d'un projet pluri-disciplinaire d'étude de l'activité conchylicole à l'échelle de la Bretagne.

## ABSTRACT :

Based on a four years survey of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* growth in the main shellfish farming areas of Brittany from 1989 to 1992, this report is a first attempt to explain the differences between sites and years. The determinist growth models do not suit to this objective, for methodological and practical reasons. Nevertheless, they provide the conceptual basis of a global model by identifying the reliable environmental parameters for a statistical explanation of growth results. The present study proposes a methodology for a global statistical model using the main stages of the ecological and biological processes of shellfish growth. These propositions are based on the analysis of the determinist model's constraints, and also on the identification of inherent limits in the use of environmental networks data. They also participate in the definition of a multi-disciplinary study of the shellfish rearing activity in Brittany.

mots-clés : Huître creuse, *Crassostrea gigas*, Croissance, Environnement, Modèle global, REMORA

key words : Cupped oyster, *Crassostrea gigas*, Growth, Environment, Global model, REMORA



## **Remerciements**

*Le sujet proposé pour mon mémoire de D.A.A. fut initié par un stage durant l'été 1992 au laboratoire IFREMER-Ressources Aquacoles de la Trinité-sur-Mer. Je tiens à remercier Joseph Mazurié et Claude Le Bec de m'avoir alors fait confiance pour démarrer ce programme, d'autant plus que la méthodologie n'était à ce moment pas encore clarifiée.*

*Cela m'a fait très plaisir de voir cette confiance renouvelée par une nouvelle période de six mois. Ce stage a été pour moi très enrichissant tant du point de vue du travail réalisé, que des rencontres et discussions qu'il a occasionné.*

*Enfin, je ne pourrais terminer sans remercier l'ensemble des personnels des laboratoires Ressources Aquacoles et de la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral pour leur accueil si sympathique : ce stage n'aurait certainement pas été aussi agréable si je n'avais pu m'intégrer aussi bien à la station.*

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	4
<b>Chapitre I : Présentation des objectifs, du cadre et des éléments de l'étude</b> .....	5
1. <i>Définition des objectifs</i> .....	5
1.1. motivation de l'approche globale .....	5
1.2. schémas d'approche.....	9
1.2.1. les facteurs de production .....	9
1.2.2. le cadre de l'analyse.....	9
2. <i>Présentation des modèles biologiques, et des modèles physiques</i> .....	11
2.1. modèles biologiques de croissance .....	11
2.2. modèle biologique de production primaire.....	11
2.3. modèles d'advection-dispersion .....	13
2.4. aspects sédimentologiques.....	13
2.5. apports terrigènes.....	14
3. <i>Données pertinentes actuellement disponibles pour l'étude des écosystèmes conchylicoles bretons</i> .....	16
3.1. les données croissance : REMORA .....	16
3.2. connaissance des bassins ostréicoles .....	17
3.2.1. aspects hydrodynamiques .....	17
3.2.2. aspects géomorphologiques.....	17
3.2.3. l'exploitation ostréicole.....	18
3.2.4. aspects sédimentologiques.....	20
3.3. les données relatives à la colonne d'eau : REPHY .....	20
3.4. les données relatives aux bassins versants.....	20
3.4.1. suivi des débits des cours d'eau.....	20
3.4.2. qualité des cours d'eaux et richesse en nitrate et phosphate ..	22
3.5. les données climatologiques .....	22
3.6. tableau synoptique .....	22
4. <i>Méthodologie d'étude et d'exploitation de la base de données disponibles</i> .....	23



## **Chapitre II : Etude statistique des relations milieu-performances conchylicoles** 24

1. Matériels et méthodes.....	24
1.1. nature des données analysées.....	24
1.1.1. les données de croissance .....	24
1.1.2. les données de milieu.....	25
1.2. typologie des bassins .....	25
1.3. explication des croissances par les facteurs environnementaux .....	26
2. Résultats .....	26
2.1. typologie des croissances.....	26
2.2. étude des caractéristiques environnementales des sites.....	28
2.3. relations croissance-environnement.....	31
3. Discussion : limites de l'étude en cours.....	32

## **Chapitre III : Discussion et perspectives**..... 34

1. Les limites de l'approche statistique .....	34
1.1. aspects spatio-temporels de la stratégie d'échantillonnage .....	34
1.2. nature des paramètres.....	34
1.3. limites géographiques des descripteurs.....	35
2. Hiérarchisation des thèmes à étudier.....	36
2.1. délimitation du domaine littoral influant sur les sites ostréicoles.....	36
2.1.1. étude hydrodynamique.....	36
2.1.2. cartographie de la capacité trophique et influence terrigène	36
2.1.3. intérêt de l'approche cartographique .....	36
2.2. acquisition de nouvelles données.....	37
2.2.1. estimation des stocks .....	37
2.2.2. caractéristiques trophiques des bassins.....	37
2.3. modélisation et explication des performances de croissance.....	37
3. Les différents niveaux d'étude.....	38
3.1. approche minimale.....	38
3.2. effort intermédiaire .....	38
3.3. programme complet.....	38

<i>4. Moyens d'étude à mettre en oeuvre</i> .....	39
4.1. moyens humains .....	39
4.1.1. personnel de la station .....	39
4.1.2. coopération avec d'autres laboratoires IFREMER ou sous-traitance.....	39
4.1.3. stagiaires .....	39
4.1.4. thèse .....	40
4.2. moyens techniques .....	40
4.2.1. systèmes de mesures : utilisation de stations intégrées .....	40
4.2.2. ressources informatiques .....	40
 <i>Conclusion</i> .....	 41
 <i>Références bibliographiques</i> .....	 42

## Introduction

Depuis 1989, la croissance de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, est suivie par le laboratoire IFREMER Ressources Aquacoles de la Trinité-sur-Mer dans le cadre d'un réseau pilote en Bretagne, qui a abouti en 1993 à la mise en place du réseau REMORA (REseau MOllusques Ressources Aquacoles) sur l'ensemble du littoral français. Ce suivi consiste en mesures annuelles des composantes de la croissance, de la mortalité et du parasitisme de lots expérimentaux homogènes mis en situation d'élevage standardisée dans les principaux sites de production ostréicole bretons.

Ce réseau a pour but de fournir aux responsables scientifiques les références objectives nécessaires à toute expertise, émissions d'avis, ou conseils aux professionnels.

Les quatre années d'étude mettent en évidence les principales caractéristiques des performances de chaque site et les évolutions annuelles. Elles révèlent des types de croissance similaires pour des sites éloignés du point de vue géographique, mais présentant *a priori* des caractéristiques environnementales proches. Il est donc important de dépasser cette première phase essentiellement descriptive des performances ostréicoles, et d'engager une démarche explicative.

Des équipes de recherche thématique ont développé dans certains sites des modèles déterministes explicitant les mécanismes biologiques et écologiques de la croissance de l'huître. Mais ces modèles nécessitent une connaissance très fine des écosystèmes conchylicoles. L'approche privilégiée ici est au contraire *globale et régionale* : elle vise à rechercher les relations statistiques entre facteurs de production et performances de croissance, globalement, à l'échelle d'un système incluant bassins versants et bassins ostréicoles.

Le travail présenté a pour objet de définir une méthodologie pour élaborer ce type de modèle. Il se propose dans un premier temps de déterminer les descripteurs environnementaux qu'il serait *pertinent* d'introduire dans le modèle, pour constituer une base de données à partir des différents réseaux de suivi du milieu littoral et terrestre *disponibles*. Ensuite, l'étude statistique de ces données et l'analyse critique de leurs limites d'utilisation, ainsi que l'identification des contraintes liées à la modélisation, permettent de définir une méthodologie pour la mise en oeuvre du modèle.

Enfin, cette méthodologie confrontée aux contraintes pratiques permet de définir les moyens et objectifs d'un programme d'étude, devant à terme fournir un outil de diagnostic et d'analyse de l'activité conchylicole régionale.



## Chapitre I :

### Présentation des objectifs, du cadre et des éléments de l'étude

#### 1. Définition des objectifs

##### 1.1. motivations de l'approche globale

Le laboratoire Ressources Aquacoles de la station IFREMER de la Trinité-sur-Mer a mis en place depuis 1989 un réseau de suivi de l'Huître creuse *Crassostrea gigas* dans les principaux sites de production ostréicole bretons (Le Bec, 1990). Ce réseau comportait huit stations en 1989, neuf de 1990 à 1991, dix depuis 1992 (**figure 1**). Depuis 1993, il a été étendu à l'ensemble du littoral français, du Languedoc-Roussillon à la Normandie, dans le cadre du réseau REMORA (REseau MOllusque Ressources Aquacoles) (**figure 2**). Ce réseau a pour objectif essentiel le suivi des performances d'élevage (croissance, mortalité, qualité de chair et de coquille). Il fournit en particulier les références nécessaires à une analyse comparative indispensable en cas de crise.

Ce réseau cependant, s'il décrit la croissance, ne permet pas de l'expliquer ni de comprendre l'origine des différences entre les sites ou de l'évolution inter-annuelle. Cette limite est particulièrement dommageable en cas de crise (mortalité, dégradation des croissances...).

Ce besoin d'interprétation est d'autant plus justifié que les analyses des résultats de croissance font apparaître des groupes de sites aux performances similaires : Littaye-Mariette (Littaye-Mariette et Mazurié, 1993) distingue ainsi le groupe des "bassins ouverts" (Cancale et Paimpol), celui des "bassins fermés brassés et renouvelés" (Etel, Golfe du Morbihan), et celui des "bassins fermés peu renouvelés" (Aber Benoît, Pen Bé). Les **figures 3.a, 3.b et 3.c** illustrent cette distinction pour l'indice de qualité, le poids moyen final, et l'infestation par *Polydora*.

Cependant cette typologie des sites n'est pas satisfaisante, car elle reste qualitative et géographique, au lieu de faire référence à des paramètres numériques tels que le temps de résidence des masses d'eau. Il serait utile de quantifier ces relations entre performances de croissance et caractéristiques environnementales. Cependant, étant donné l'éclatement géographique et la diversité des sites de la production ostréicole bretonne, il n'est pas envisageable d'appliquer d'emblée les méthodes et modèles analytiques car ils impliquent généralement des stratégies d'échantillonnage très lourdes. Il a donc été décidé, pour des raisons de moyens, mais aussi de méthodes, d'aborder ces relations dans un premier temps à un niveau global.

L'approche privilégiée ici consiste à essayer d'expliquer les résultats de croissance, à partir de données environnementales *existantes* dont la *pertinence* a été prouvée par les modèles déterministes, par des relations *statistiques* permettant de préciser les typologies observées.



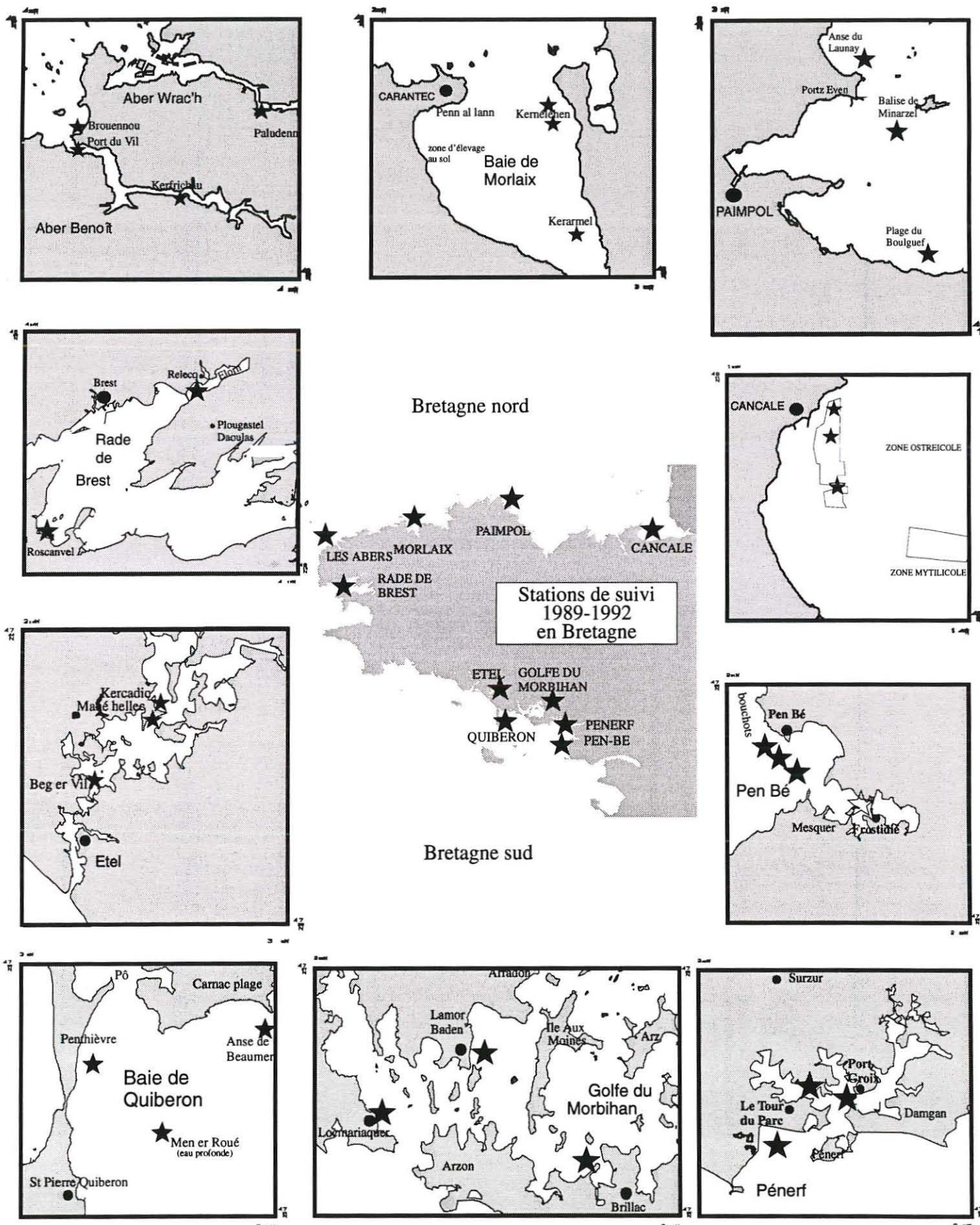


Figure 1 : Carte des stations du réseau breton en 1992



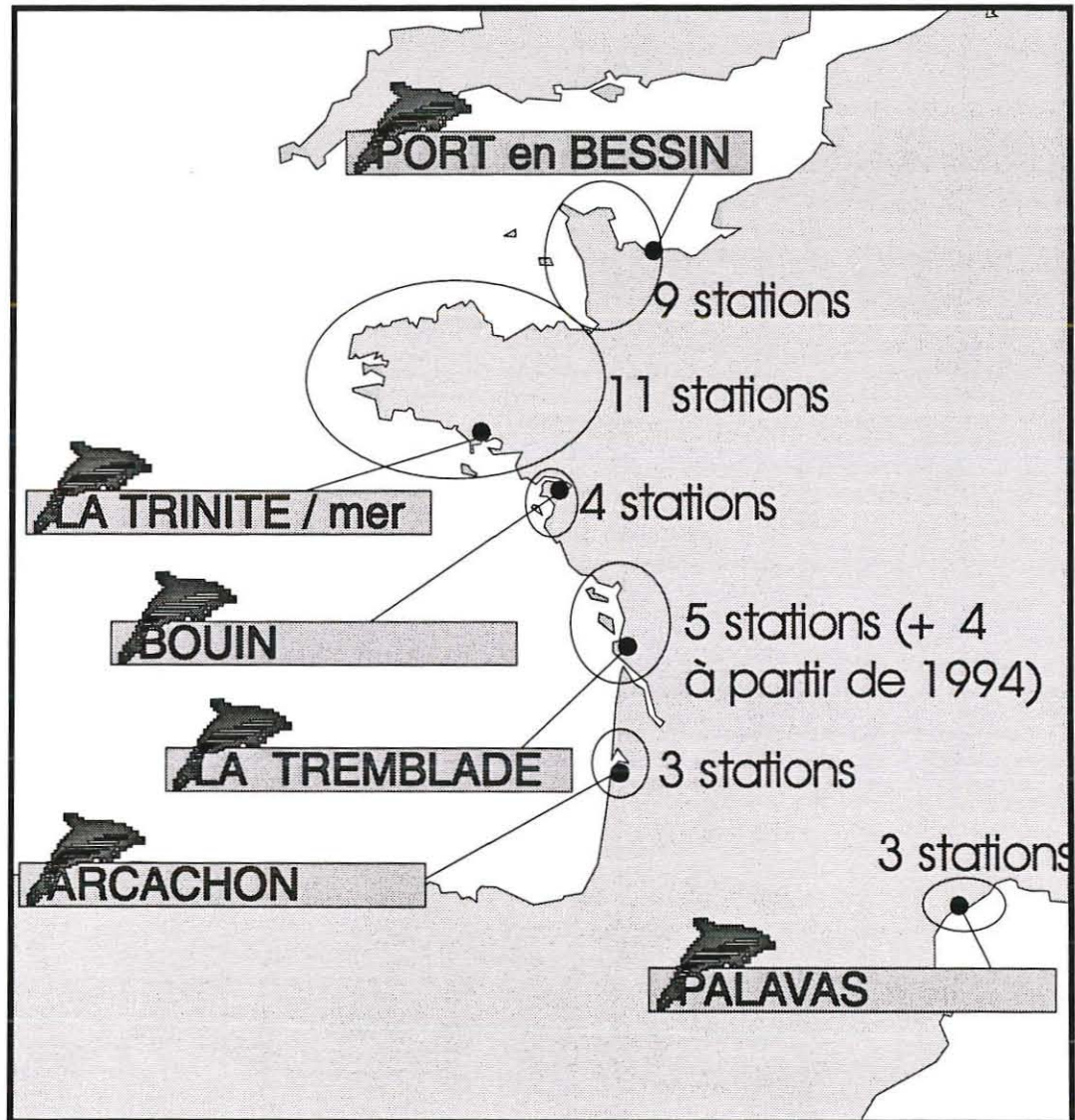
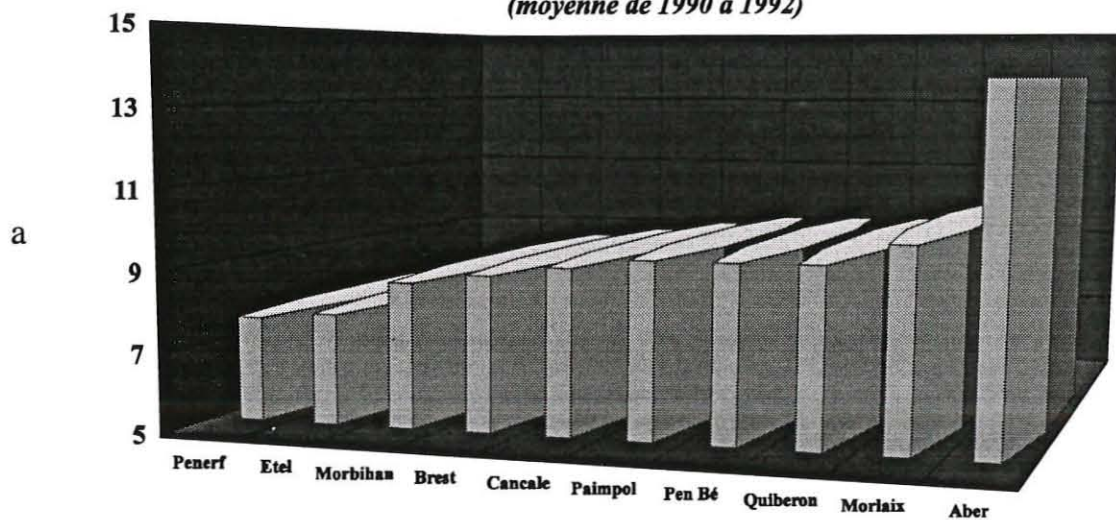


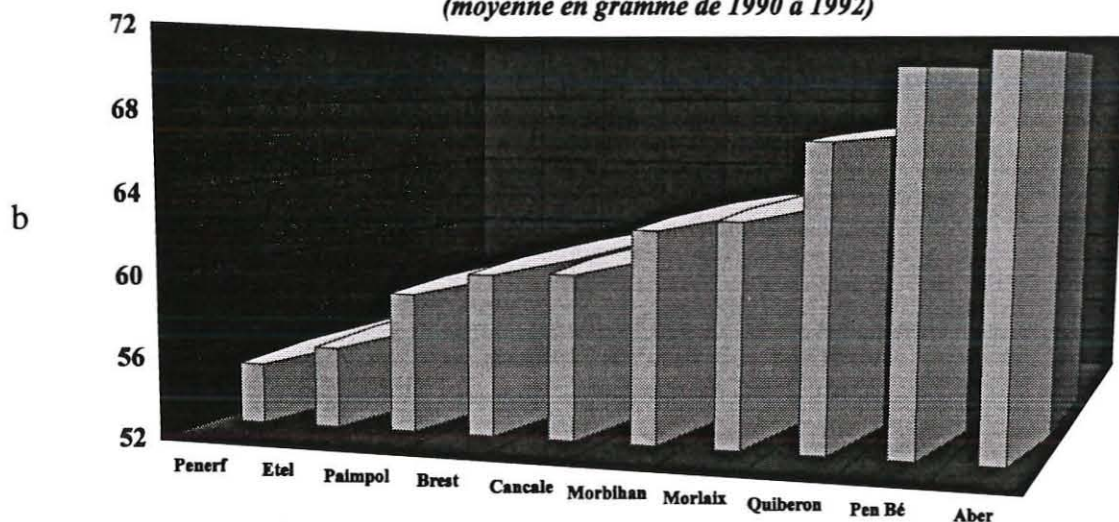
Figure 2 : réseau national REMORA



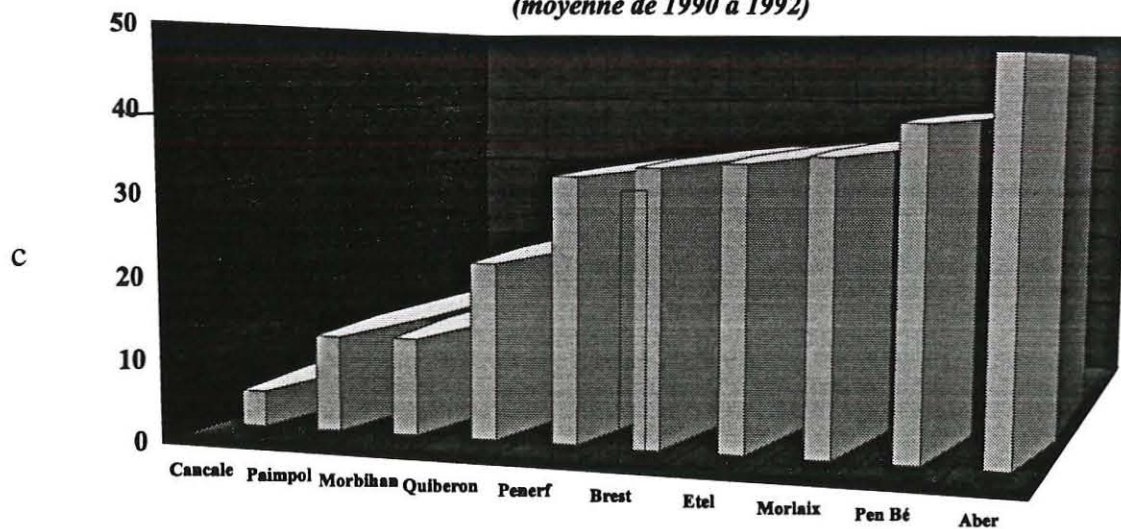
**Indice de qualité (norme AFNOR)**  
(moyenne de 1990 à 1992)



**Poids moyen final des huîtres .**  
(moyenne en gramme de 1990 à 1992)



**Taux d'huîtres très polydorées.**  
(moyenne de 1990 à 1992)



**Figure 3. Indice de qualité poids moyen final et infestation par le Polydora (moyennes 1990-1992)**



## 1.2. schémas d'approche

### 1.2.1. les facteurs de production

Les premières réflexions sur l'approche globale, à un niveau régional, des facteurs de croissance et des mécanismes expliquant les performances conchylicoles ont eu pour objet d'établir la liste des paramètres d'influence. La **figure 4** présente l'ensemble de ces paramètres, classés selon leur nature. Ce schéma, qui ne fait toutefois pas apparaître de hiérarchisation entre ces facteurs, précise les échelles spatiale et temporelle des différentes composantes.

Les facteurs liés aux bassins ostréicoles comportent des caractéristiques stables d'année en année (hydrodynamisme) mais aussi susceptibles d'évolution à moyen terme comme la qualité hydrologique (au sens large) ou le stock de compétiteurs (e.g., *Crepidula fornicata*). Les adaptations zootechniques peuvent être opérées soudainement dans certains secteurs, mais globalement les pratiques ostréicoles sont sujettes à des évolutions à moyen terme. L'influence des bassins versants se fait au travers des apports des cours d'eau en eau douce, sels nutritifs, mais aussi en particules organiques et minérales ou encore en polluants. Ces apports sont déterminés par les caractéristiques des bassins versants, l'activité humaine qui s'y exerce et les conditions climatiques, source de l'essentiel des variations interannuelles. Cet ensemble de facteurs pourra donc influencer d'une part les caractéristiques moyennes de la production ostréicole, mais aussi les variations annuelles et les tendances à moyen terme.

L'environnement hydro-biologique immédiat des huîtres est quant à lui la résultante de l'effet des trois groupes précédents. Il représente la capacité trophique instantanée de chaque site (même s'il intègre les tendances à moyen et long terme) et détermine directement la croissance des huîtres.

### 1.2.2. le cadre de l'analyse

L'objectif final est de sélectionner les paramètres nécessaires à l'élaboration d'un outil d'analyse des performances ostréicoles. Il convient dans un premier temps de hiérarchiser l'ensemble de ces facteurs, à partir des connaissances acquises par les spécialistes travaillant sur les différents niveaux de ce processus, et en particulier par le laboratoire Ifremer de la Tremblade, qui a développé des modèles de croissance de l'Huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron. Dans un deuxième temps il s'agira de définir les paramètres actuellement disponibles et ceux qui devront faire l'objet d'une acquisition parallèle au réseau REMORA, soit par IFREMER, soit par les organismes compétents.

La première étape est de faire apparaître les relations entre les différents paramètres présentés sur la **figure 4**. Ensuite, pour l'explication du niveau moyen de croissance de chaque site, mais aussi des différences entre les années pour un même site, il faudra distinguer les paramètres d'action instantanée de ceux qui expriment les évolutions à moyen terme. Enfin, pour établir le modèle complet, il faudra "enchaîner" trois niveaux de modélisation expliquant :

- les apports terrigènes et océaniques,
- la production primaire,
- la production ostréicole.

		Long terme	Moyen terme	Court terme	Echelle Temporelle				
		<b>Facteurs liés au bassin ostréicole</b>	<b>Facteurs liés au Bassin Versant</b>	<b>Facteurs climatiques</b>					
Bassin Ostréicole		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques géographiques</li> <li>- Surface et volume du bassin</li> <li>- Profondeur moyenne</li> <li>- Nature et vitesse des vents et courants dominants</li> <li>- Temps de résidence</li> <li>- Stocks de prédateurs et compétiteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flux minéraux : + Azote + Phosphore</li> <li>- Teneurs en argile</li> <li>- Matière organique</li> <li>- Polluants : + pesticides + métaux lourds, .....</li> <li>- Caractéristiques géographiques du bassin versant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Température</li> <li>- Pluviométrie</li> <li>- Vent</li> <li>- Rayonnement lumineux</li> </ul>					
	Concession Parc			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Techniques d'élevage</th> <th>Environnement hydro-biologique</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques des huîtres mises en culture</li> <li>- Age des animaux (à maturité)</li> <li>- Techniques de culture</li> <li>- Position des poches :  + lieu + profondeur (durée d'immersion)</li> <li>- Densité d'élevage</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Température de l'eau</li> <li>- Turbidité</li> <li>- Nature des sédiments</li> <li>- Quantité et qualité de phytoplancton</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Techniques d'élevage	Environnement hydro-biologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques des huîtres mises en culture</li> <li>- Age des animaux (à maturité)</li> <li>- Techniques de culture</li> <li>- Position des poches :  + lieu + profondeur (durée d'immersion)</li> <li>- Densité d'élevage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Température de l'eau</li> <li>- Turbidité</li> <li>- Nature des sédiments</li> <li>- Quantité et qualité de phytoplancton</li> </ul>	
Techniques d'élevage	Environnement hydro-biologique								
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques des huîtres mises en culture</li> <li>- Age des animaux (à maturité)</li> <li>- Techniques de culture</li> <li>- Position des poches :  + lieu + profondeur (durée d'immersion)</li> <li>- Densité d'élevage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Température de l'eau</li> <li>- Turbidité</li> <li>- Nature des sédiments</li> <li>- Quantité et qualité de phytoplancton</li> </ul>								
Echelle spatiale									

Figure 4 : Classification spatio-temporelle des paramètres contrôlant la production ostréicole.



## 2. Présentation des modèles biologiques, et des modèles physiques.

Les principaux mécanismes déterminant la croissance des huîtres sont résumés dans la **figure 5**. On peut sur ce schéma distinguer les différents niveaux de déterminisme, qui correspondent à différents domaines d'étude, et donc à différentes modélisations : au centre sont représentés les processus de nutrition qui aboutissent à la croissance pondérale. Le niveau supérieur fait apparaître les mécanismes de production primaire et d'apport de matières, soit alimentaires, soit régulatrices de la consommation. Enfin, en caractères jaunes, sont figurés les facteurs expliquant ces apports : ceux regroupés dans les boîtes bleues expliquent les variations à court et moyen terme, les autres représentent les caractéristiques stables du bassin de production.

### 2.1. modèles biologiques de croissance

La fonction des modèles biologiques est de calculer la croissance *instantanée* d'une huître de poids et d'âge donné, à partir de la qualité de l'eau, essentiellement décrite par la température et la richesse en phytoplancton.

L'alimentation des bivalves se fait soit par absorption directe de substances dissoutes (couvrant jusqu'à 25 % des besoins énergétiques métaboliques), soit par filtration par les organes palléaux des particules en suspension dans l'eau (Le Gall S. et C. Béchemin, 1994). Dans la plupart des modèles de croissance, l'absorption directe n'est pas prise en compte, car la mesure des teneurs en acides aminés, sucres ou acides gras serait trop lourde. Le niveau de filtration peut-être considéré comme indépendant de la concentration particulaire, hormis l'effet négatif des fortes charges sestoniques (Raillard, 1991) : lorsque la charge sestonique dépasse une valeur seuil, il se produit un colmatage des branchies et une émission de pseudo-fécès. L'assimilation est sous la dépendance de la température et du poids de l'huître, de même que les dépenses métaboliques et la ponte (fonction allométrique du poids uniquement). Le gain de poids représente alors la partie assimilée restant après les dépenses métaboliques et la ponte.

Les équations utilisées dans le modèle de Marennes-Oléron sont décrites dans le rapport 1991 sur la modélisation de l'écosystème du bassin de Marennes-Oléron (Bacher et al., 1990), qui fournit en particulier différentes valeurs des coefficients tels que les taux de filtration, l'efficacité d'assimilation, proposés dans la littérature ou utilisés à Marennes-Oléron.

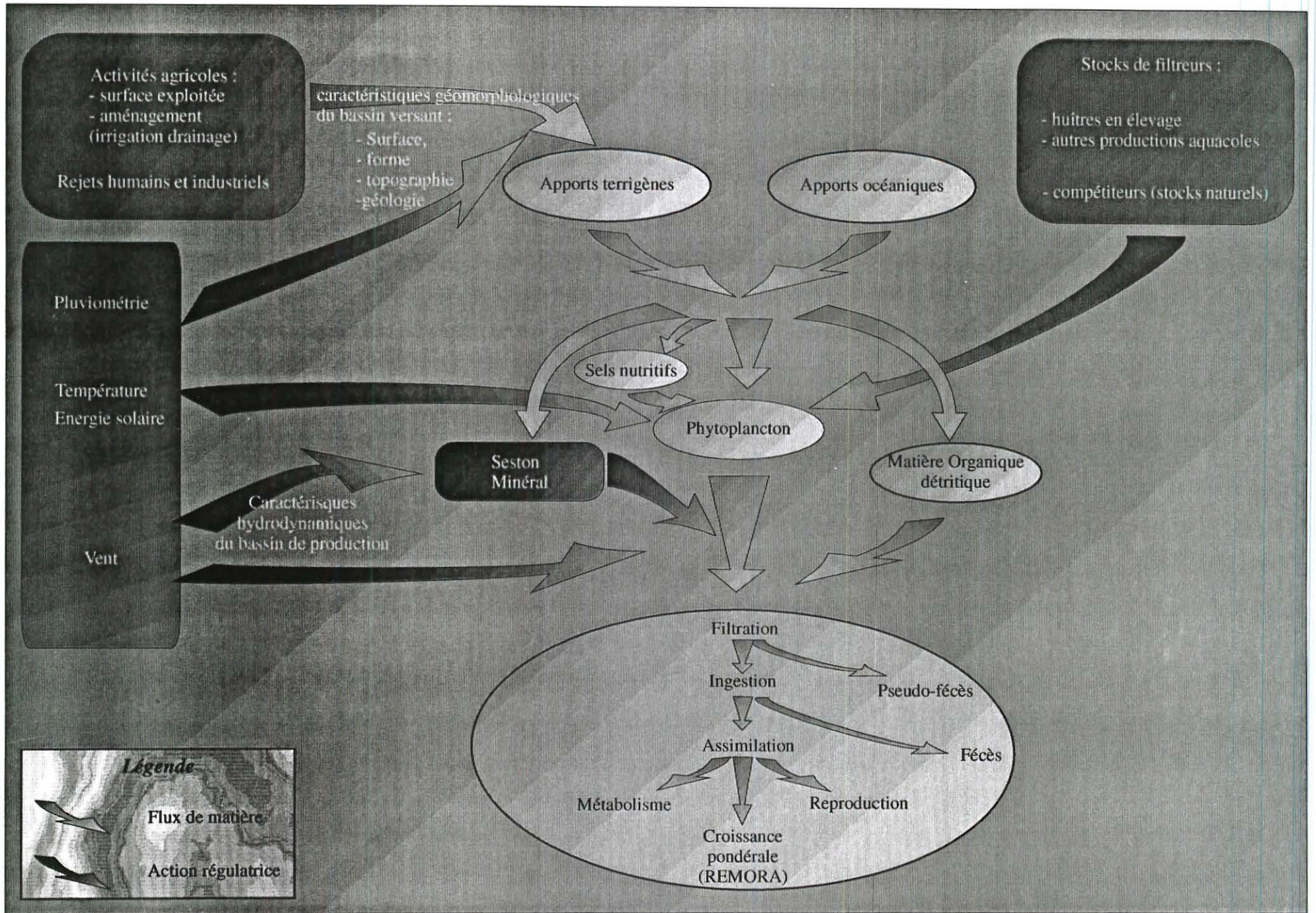
### 2.2. modèle biologique de production primaire

Un paramètre fondamental des modèles de croissance est la disponibilité alimentaire, et plus particulièrement la biomasse phytoplanctonique. La modélisation de l'écosystème de Marennes-Oléron utilise un modèle de production primaire développé par Menesguen (1989), adapté aux conditions du site. La production de phytoplancton est sous la dépendance de la température, de l'énergie lumineuse, et de la concentration en sels nutritifs, et particulièrement de l'azote, facteur limitant. La concentration en phytoplancton d'une zone du bassin résulte de cette *production primaire* mais aussi du *bilan [entrées - sorties] aux limites* de la zone étudiée, et de la *prédation* par les huîtres et les autres filtreurs.

L'effort d'échantillonnage nécessaire à une estimation directe de cette concentration est très élevé, à cause d'une part de la variabilité spatiale des caractéristiques des masses d'eau, et d'autre part de l'évolution temporelle rapide de la production phytoplanctonique.



Figure 5. Déterminisme de la croissance des huîtres.  
Schéma de synthèse.





S'il n'est pas possible de mesurer directement la concentration phytoplanctonique, il faut donc soit la **modéliser**, soit *intégrer dans le modèle statistique les facteurs qui interviennent dans sa production*.

### 2.3. modèles d'advection-dispersion

L'abondance phytoplanctonique en tout point du bassin, objet de la modélisation, résulte de l'intégration dans l'espace et dans le temps des processus instantanés décrits plus haut, en fonction notamment du déplacement des masses d'eau. La démarche utilisée à la Tremblade intègre les facteurs hydrodynamiques qui contrôlent les apports océaniques et le transport des particules. Le modèle d'advection-dispersion en boîte constitue un compromis intéressant entre les exigences de calcul et la simplicité de mise en oeuvre (Bacher, 1989). Il nécessite le calcul des vecteurs de courants résiduels au niveau de chaque boîte, et permet, à partir des valeurs aux limites, et de la connaissance des variations (production, consommation ou dégradation) au sein de chaque boîte, de modéliser en tout point du site les paramètres comme la turbidité, ou le niveau de phytoplancton. Cependant, le site de Marennes-Oléron diffère par son échelle des sites de production bretons. S'il est possible, à partir des connaissances actuelles de mettre en oeuvre ce type de démarche sur certains bassins, tels que Cancale, Paimpol ou Quiberon, les faibles dimensions de la rivière d'Étel, de Pen Bé ou encore de l'Aber Benoît rendent difficile un découpage en boîtes, d'autant plus que certains ne sont pas encore totalement hydrographiés (les rivières d'Étel et de Pénerf). Pour d'autres sites, comme le Golfe du Morbihan, les études courantologiques sont en cours.

### 2.4. aspects sédimentologiques

Héral et al (1984) ont mis en évidence l'importance de l'interface eau-sédiment dans la production primaire locale, et donc dans la production ostréicole. Ils ont en effet pu établir des corrélations entre la croissance de *C. gigas* et un ensemble de paramètres incluant la microflore du sédiment. Lemoine (1990) explique l'influence de la matière organique du sédiment sur les rendements conchylicoles par le substrat offert à la dégradation bactérienne qui fournit à la colonne des formes assimilables d'azote et de phosphore et par l'entretien dans le sol de conditions réductrices favorables à la concentration et à la libération des sels nutritifs au-dessus de l'interface.

Les travaux récents accordent une place importante à la production primaire benthique, sous forme de microphytobenthos. Cette production serait particulièrement significative au niveau des larges estrans éclairés à marée basse et soumis à une remise en suspension aisée par les courants ou le clapot.

Le sédiment est donc susceptible d'exercer une influence significative sur la production ostréicole. Cependant, les connaissances disponibles sont incomplètes sur les sites du réseau de suivi de la croissance des huîtres. A nouveau, il conviendra d'intégrer au modèle certains facteurs tels le vent, la profondeur, les surfaces d'estran.



## 2.5. apports terrigènes

Les bassins versants et l'enrichissement en sels nutritifs engendré par les activités agricoles ou les rejets urbains et industriels semblent exercer une influence déterminante sur les performances ostréicoles de certains sites. La carte de "qualité" des cours d'eau de la figure 6 a été établie à partir des cartes des Agences de Bassin (tableau n° 1) qui classent les rivières en cinq groupes du point de vue des nitrates, phosphates, matière organique. En superposant cette carte et une carte de croissance d'huîtres on remarque que les zones dont la qualité d'eau est la moins bonne correspondent à celles qui connaissent les meilleures croissances, tout au moins pour les bassins fermés de type estuarien. Ce type de classement des eaux douces n'est pas suffisamment précis cependant pour être intégré à un modèle explicatif des résultats ostréicoles. Par ailleurs, les réseaux de surveillance des cours d'eau ne fournissent pas directement le paramètre le plus significatif que sont les flux de sels nutritifs.

A défaut de mesures directes, la modélisation déterministe (c'est à dire identifiant les mécanismes) ou statistique (ne cherchant pas à identifier les mécanismes, mais tenant compte uniquement des corrélations) peut être une voie à privilégier pour connaître les apports terrigènes dans chacune des zones ostréicoles.

Les premiers travaux, à l'échelle de la Bretagne, ont fourni un modèle prédisant les flux de nitrate et de phosphate, à partir de l'excédent agricole d'azote, des rejets ponctuels d'azote, et des débits d'étiage (Saunier Eau et Environnement, 1993). Les paramètres qui ont été utilisés pour cette étude sont :

### 1. caractéristiques du bassin versant

- surface
- longueur
- altitude de la source
- altitude de l'exutoire

### 2. géologie

- pourcentage de la surface du bassin couvert de Schistes
- pourcentage du bassin couvert de Granites

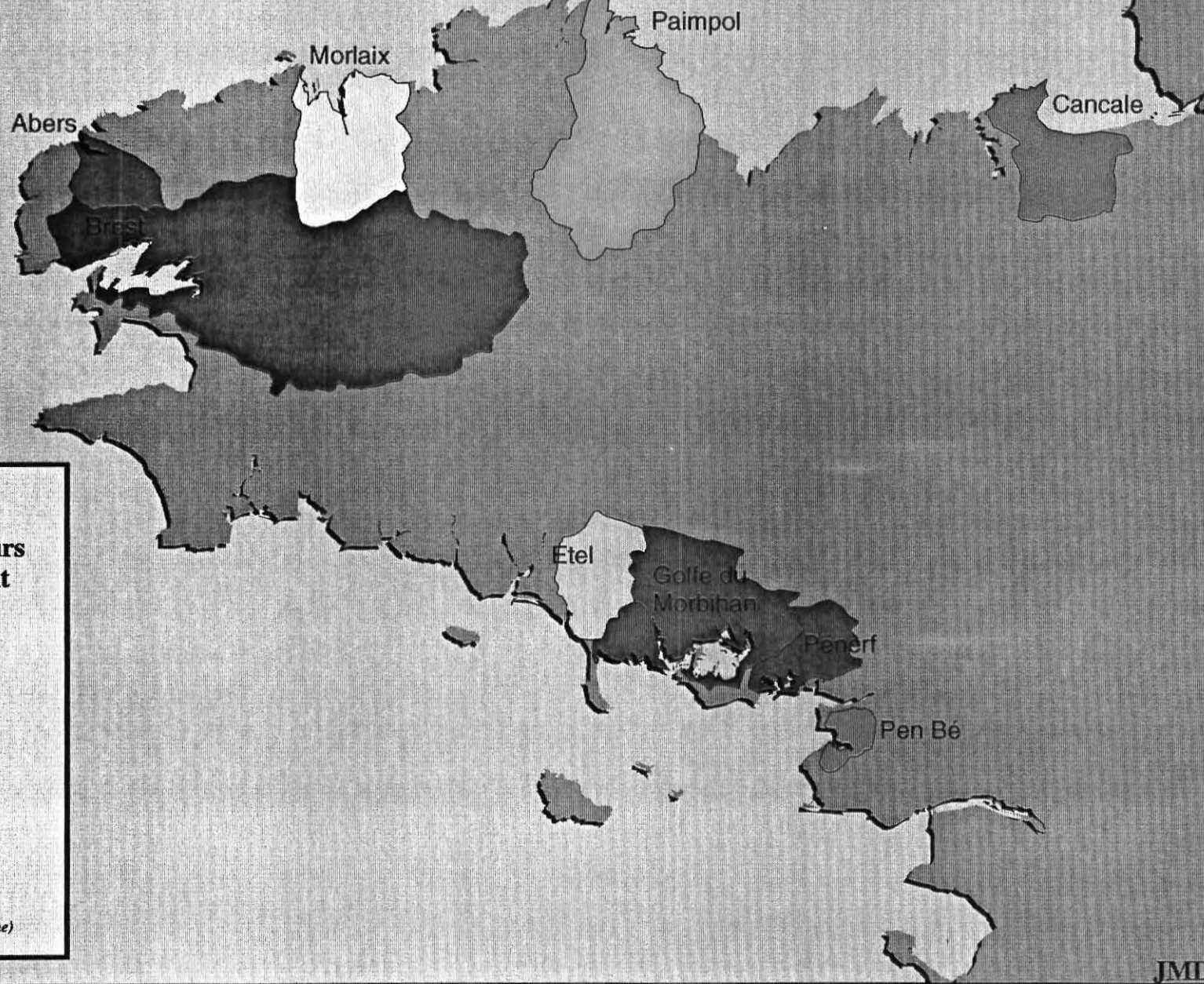
### 3. débits

- débit moyen inter-annuel
- débit de crue décennale
- débit d'étiage
- débits moyens trimestriels

### 4. occupation agricole et forestière

- pourcentage de la surface du bassin toujours en herbe
- pourcentage de la surface du bassin en labours
- surface en élevage
- superficie drainée et irriguée
- pourcentage de variation de surface labourée entre les deux derniers recensements agricoles
- pourcentage de la surface du bassin en forêt
- superficie remembrée.

### 5. rejets urbains et industriels (pour le phosphore)



### Légende

#### Qualité générale des cours d'eau du bassin versant

-  bonne à très bonne
-  bonne
-  bonne à mauvaise
-  moyenne
-  moyenne à mauvaise
-  mauvaise

(d'après l'Agence de Bassin Loire - Bretagne)

Figure 6. Qualité générale des bassins versants



		1A Très bonne	1B Bonne	2 Moyenne	3 Mauvaise	HC Très mauvaises
MES	mg/l			25	70	150
DCO	mgO <sub>2</sub> /l		20	25	40	80
DBO5	mgO <sub>2</sub> /l		3	5	10	25
Oxyd. (froid 4 h)	mgO <sub>2</sub> /l		3	5	8	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l		0,1	0,5	2	8
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l		0,1	0,3	1	2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l				50	100
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	mg/l				250	
Cl <sup>-</sup>	mg/l		100	200	400	1000
O <sub>2</sub> dissous	mg/l		7	5	3	
O <sub>2</sub> en % de saturation	%		90 %	70 %	50 %	
Chlorophylle a	mg/m <sup>3</sup>		10	60	120	300
Indice biotique moyen IBG : Indice biologique global		9 et plus 16 et plus	8 et 7 15 à 13	6 et 5 12 à 9	4 et 3 8 à 6	2 et 1 5 et moins
Ecart entre l'indice biotique observé et l'indice normal		0 ou 1	2 ou 3	4 ou 5	6 ou 7	8 ou plus

Tableau 1 : Grille utilisée pour estimer la qualité générale du cours d'eau

Source : Agence de Bassin Loire-Bretagne

Ce modèle établi dans des sites différents reste à valider et à appliquer aux sites suivis dans le cadre de REMORA.

La mise en oeuvre de modèle de flux des bassins versants devrait permettre de simuler les apports d'azote (généralement le facteur limitant de la production primaire) et de phosphore, mais impose de disposer d'un grand nombre de variables.

### 3. données "pertinentes" actuellement disponibles pour l'étude des écosystèmes conchylicoles bretons

Les paragraphes précédents, illustrés par la **figure 5**, ont présenté les variables qui interviennent dans le fonctionnement des écosystèmes conchylicoles et dans la croissance des huîtres. L'objet des paragraphes suivants est de faire le bilan des données, pertinentes à l'éclairage des modèles déterministes, disponibles actuellement.

#### 3.1. les données croissance : REMORA

Le réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse a débuté en 1989 par une étude pilote sur huit sites bretons, comportant chacun deux stations (trois les années suivantes). Pour les quatre années, le lot initial provenait du bassin d'Arcachon, et a été prégrossi jusqu'à "18 mois" dans le Golfe du Morbihan, avant d'être réparti entre les différents sites. Malgré l'effort d'homogénéité des protocoles, un certain nombre de modifications sont intervenues : en 1989, la mise en élevage fut retardée de six semaines pour des raisons techniques, et dans certains sites toutes les poches n'étaient pas au même niveau bathymétrique ; en 1990, plusieurs densités ont été testées autour du chiffre retenu de deux cent huîtres par poche ; enfin, le nombre de poches mis en place en chaque point a été diminué de 6 en 1989, à 3 en 1990 et 2 en 1991 et 1992 (cette diminution a été validée statistiquement).

Les paramètres biométriques, de qualité, de mortalité et de parasitisme étudiés en fin d'élevage (mesure annuelle) et les méthodes de mesure sont restées inchangées (à l'exception du paramètre poids sec) :

- poids moyen par poche,
- taux de survie,
- poids moyen individuel,
- gain de poids par poche,
- gain de poids moyen individuel,
- rendement (rapport du gain de poids de la poche à son poids de départ),
- indice de qualité (norme AFNOR),
- longueur,
- épaisseur,
- poids de coquille vide,
- poids de chair,
- infestation par le parasite *Polydora*.

Ces paramètres sont présentés, sous forme de graphiques, en annexe I.



### 3.2. connaissance des bassins ostréicoles

#### 3.2.1. aspects hydrodynamiques

De nombreuses études courantologiques ont été réalisées sur le littoral breton. On ne dispose cependant pas d'une cartographie des courants suffisamment précise pour expliquer les variations intra-sites, ni délimiter précisément des zones d'élevages aux caractéristiques hydrologiques homogènes.

Pour la Bretagne Nord, une étude des conditions hydrodynamiques a été réalisée dans le cadre du programme de cartographie des zones sensibles à l'eutrophisation (Garreau, 1993). Les facteurs modélisés ont été retenus pour leur action sur les processus biologiques : ce sont la vitesse maximum instantanée, la capacité dispersive, l'indice de stratification, les résiduelles lagrangiennes, et les temps de résidence. L'échelle spatiale de ce modèle permet de se faire une première idée du transport et du mélange des masses d'eau. De plus, ces paramètres ont été choisis pour leur effet sur l'eutrophisation, et en conséquence intéressent aussi l'explication des croissances.

Une modélisation analogue n'est par contre pas disponible pour la Bretagne-Sud. Des travaux en cours sur le Golfe du Morbihan devraient bientôt aboutir.

#### 3.2.2. aspects géomorphologiques

En l'absence de modèle hydrodynamique complet, on peut apprécier les échanges et le renouvellement des masses d'eau à partir de variables géomorphologiques et tidales.

Les analyses multivariées des résultats de croissance tendent à faire apparaître une distinction entre les sites de type estuarien, et des sites plus ouverts aux échanges avec le large. Cette distinction repose toutefois sur une appréciation qualitative insuffisante : il est par exemple difficile de classer des sites comme la Baie de Morlaix, ou bien le Golfe du Morbihan qui a un comportement (du point de vue des croissances) proche des sites "ouverts".

Une première catégorie de modèles ont été développés pour une application aux sites à *mouvements tidaux faibles* : ils expliquent la régulation des mouvements des masses d'eau par des paramètres de taille, de forme ou d'exposition. A partir de différentes configurations de bassin (e.g., fjord, baie, estuaire), Håkanson et al., (1986) ont établi la régression suivante:

$$T_p = 42.7 W E^{-0.71}$$

où  $T_p$  est le temps de résidence,  $W$ , la largeur moyenne du site et  $E$ , l'ouverture du bassin.

D'autres modèles permettent de calculer les temps de résidence dans le cas de mer à *marée de forte amplitude*, en tenant compte des surfaces du bassin à différentes hauteurs de marée (Håkanson et al., 1986).

S'ils ne sont pas directement transposables, ces travaux justifient l'utilisation des données morpho-géographiques pour rendre compte des temps de résidence. Dans notre application, nous proposons d'utiliser deux indices complémentaires :

- un indice reflétant l'exposition au large et donc le renouvellement d'eau par les courants résiduels : l'indice d'ouverture du bassin, rapport de "la plus grande longueur" sur "l'ouverture" du bassin.
- un indice de renouvellement par la marée ( $T_{th}$ ) calculé ci-après.

Les surfaces et les volumes des bassins selon la marée (pleine mer ou basse mer, de vives eaux ou de mortes eaux) ont été obtenus grâce à un maillage des bassins de 0,2 ou 0,25 minute de coté à partir des cartes marines du SHOM (**figure 7**). Pour chaque maille, le calcul de la profondeur moyenne, par rapport au zéro hydrographique, permet de connaître la surface en eau et le volume pour toute hauteur d'eau.

D'autre part, la différence moyenne de volume du bassin entre marée haute ( $V_{pm}$ ) et marée basse ( $V_{bm}$ ) permet de calculer, en rapportant à un cycle de marée, un débit moyen  $Q_{moy}$  d'eau de mer :

$$Q_{moy} = (V_{pm} - V_{bm}) / 12 \text{ h } 25 \text{ min}$$

En considérant le débit d'eau douce  $D$  négligeable devant le débit  $Q_{moy}$  lié aux marées (ce qui est le cas de tous les sites étudiés), on peut à partir du volume moyen  $V_{moy}$  calculer un temps de résidence théorique  $T_{th}$  :

$$T_{th} = V_{moy} / (D + Q_{moy}) \approx V_{moy} / Q_{moy}$$

Ce temps théorique de résidence correspond au temps nécessaire pour que l'apport d'eau par les marées renouvelle entièrement le bassin. Cependant il ne tient pas compte des mouvements de brassage des eaux par les courants, de la stagnation ou de la dilution des eaux douces, ni du mouvement des masses d'eau à proximité des bassins de production.

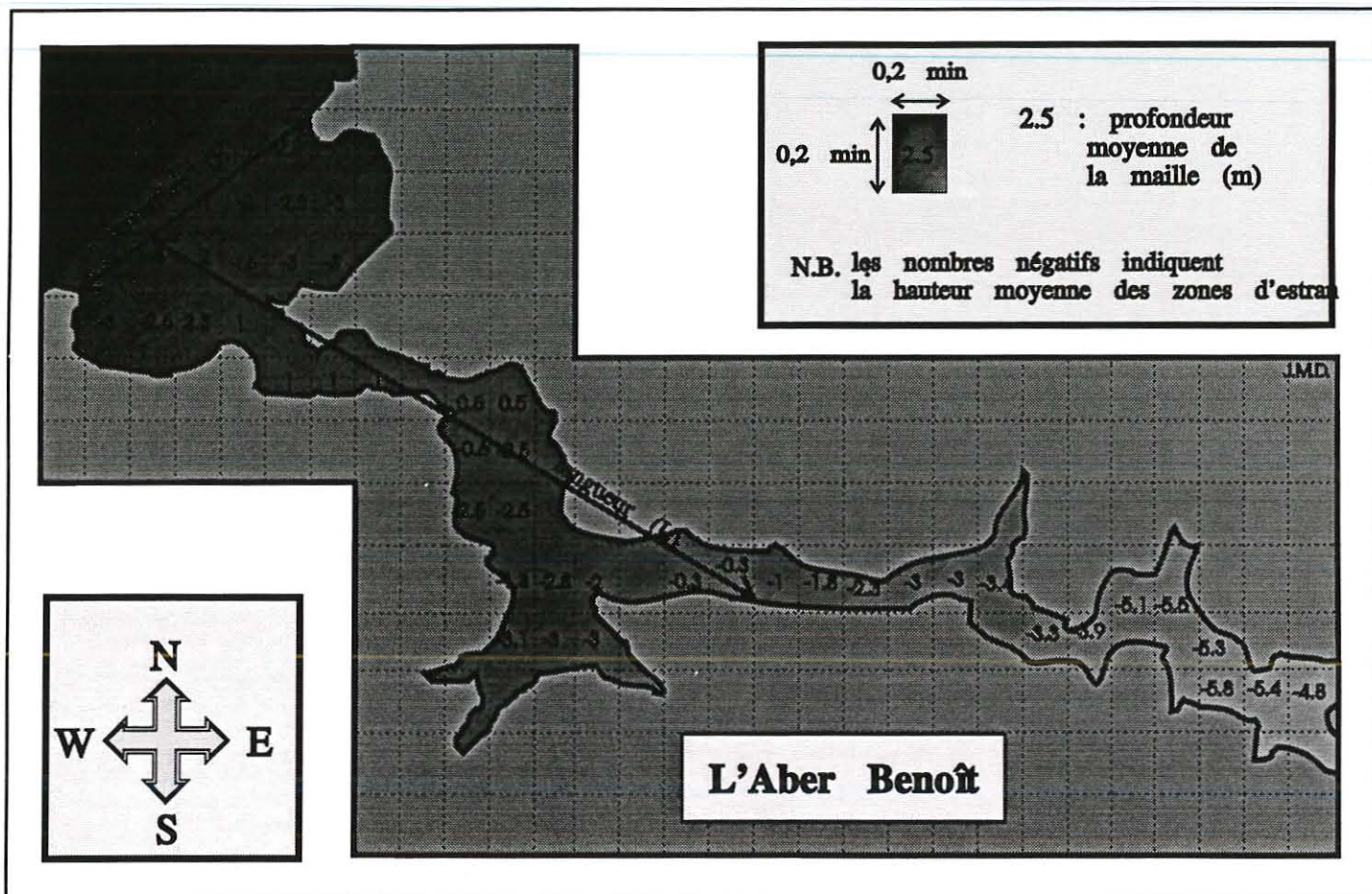
Ces résultats sont présentés dans l'annexe III, avec l'ensemble des descripteurs environnementaux.

### 3.2.3. l'exploitation ostréicole

L'intensité d'exploitation des capacités trophiques d'un bassin ostréicole, reflétée par le niveau du stock en élevage, est un paramètre essentiel. Une surexploitation peut entraîner une dégradation des performances de croissance et augmenter la sensibilité aux perturbations du milieu, ou aux agressions parasitaires. Cependant on ne dispose actuellement en Bretagne de données fiables sur les stocks. Les professionnels sont en effet très réticents à déclarer leurs stocks et l'estimation directe par échantillonnage ou utilisation de techniques de télédétection sont extrêmement lourdes à mettre en oeuvre pour un grand nombre de sites.

Pour apprécier les niveaux d'exploitation, les seuls renseignements disponibles sont les données officielles (Affaires Maritimes) de surface et type d'exploitation. Nous avons utilisé des données fournies par le Service d'Economie Maritime d'IFREMER, qui a accès au fichier du Centre Administratif des Affaires Maritimes (ce fichier devrait d'ailleurs être bientôt disponible pour l'ensemble des agents IFREMER, via le réseau informatique et le logiciel *Conci*). De cette base de données ont été extraites les surfaces des concessions à vocation ostréicole, soit sur estran en Domaine Public Maritime (DPM), soit en eau profonde en DPM, soit sous une autre nature juridique. A partir de ces surfaces, un pourcentage d'occupation a été calculé, en rapport à la surface totale du bassin de production.





Calcul de la surface  $S_h$  et du volume  $V_h$  du bassin selon la hauteur  $h$  de la mer :

la surface élémentaire de la maille  $i$  de profondeur  $p_i$  est

$$S_h = S_{ih}$$

$$V_h = S_{ih} \times (p_i + h)$$

avec  $S_{ih} = 0$  si  $p_i + h < 0$

Calcul du débit moyen lié aux marées  $Q_{moy}$  et du temps de résidence théorique  $T_{th}$

$$Q_{moy} = (V_{pm} - V_{bm}) / 12 \text{ h } 25 \text{ mn}$$

avec  $V_{pm}$  : volume moyen à pleine mer  
 $V_{bm}$  : volume moyen à basse mer

$$T_{th} = V_{moy} / D + Q_{moy} \quad V_{moy}/Q_{moy}$$

avec  $D$  : débit d'eau douce ( $\ll Q_{moy}$ )

**Figure 7 : Caractérisation géomorphologique du bassin : exemple de l'Aber Benoît**



### 3.2.4. aspects sédimentologiques

En dehors de son action sur la production, le sédiment peut aussi être utilisé en qualité de traceur. Il intègre en effet nombre de phénomènes qui se sont déroulés dans la masse d'eau correspondante.

Dans le cadre de cette étude, on s'est interrogé sur l'utilisation du taux de matière organique du sédiment, non pas au niveau des stations REMORA elles-mêmes (trop différentes du point de vue de l'hydrodynamisme), mais dans les zones les plus proches où les matières en suspension étaient susceptibles de sédimenter. Les valeurs recueillies sur six sites (Cancale, Morlaix, Aber Benoît, Rade de Brest, Etel et Pénerf), devront être relativisées en fonction de la granulométrie du prélèvement pour pouvoir être interprétées.

### **3.3. les données relatives à la colonne d'eau : REPHY**

Le réseau de suivi Phytoplancton (REPHY), mis en oeuvre par la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral de l'IFREMER, couvre l'ensemble du littoral français, et donc la plupart des sites de production conchylicole. La stratégie poursuivie dans le cadre de REPHY est triple : suivi environnemental (e.g., collecte de données sur les populations phytoplanctoniques et des perturbations de type eaux colorées, bloom), protection de la santé publique (dépistage des espèces toxiques pour l'homme), protection des cheptels (dépistage des espèces toxiques pour les animaux marins en élevage). Il est intéressant d'examiner les résultats du réseau REPHY pour expliquer ceux de REMORA sans ignorer certaines limites dans cette approche :

- l'échantillonnage REPHY n'est pas régulier : certains points font l'objet d'un suivi bimensuel en hiver et hebdomadaire en été (lorsque les conditions météorologiques permettent les prélèvements) ; d'autres points ne sont en revanche suivis qu'en situation d'alerte, lorsqu'une espèce toxique est signalée.
- la localisation des points de suivi ne correspond pas tout à fait celle des stations REMORA (même si un effort a été consenti pour rapprocher les poches expérimentales des points de suivi REPHY), et certains sites en Bretagne ne sont l'objet d'aucun suivi permanent (Aber Benoît, Golfe du Morbihan, Pénerf).
- les paramètres suivis permettent de caractériser physiquement la masse d'eau (température, salinité, turbidité) mais ne rendent pas précisément compte de la disponibilité alimentaire pour les huîtres, les particules de moins de 10 µm de diamètre, qui peuvent pourtant jouer un rôle important dans la nutrition des animaux filtreurs, n'étant pas observées, et la chlorophylle n'étant estimée que depuis peu.

### **3.4. les données relatives aux bassins versants**

#### 3.4.1. suivi des débits des cours d'eau

Le Service Régional de l'Aménagement des Eaux (devenu Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques, rattaché à la Direction Régionale de l'Environnement) a mis en place depuis une vingtaine d'années un réseau de suivi hydrologique sur les principales rivières de Bretagne. Ce réseau comporte actuellement une centaine de stations de jaugeage dont la gestion est assurée soit par le SRAE, soit par le SHC Loire-Bretagne (Service Hydrologique Centralisateur). Ce réseau fournit les débits moyens journaliers, déduits de l'enregistrement continu des hauteurs d'eau et d'une courbe d'étalonnage exprimant pour la station la relation entre hauteur d'eau et débit.

	Paramètre	Disponibilité	Source	Fréquence	Intérêt	Coût
Facteurs climatiques	Température Pluviométrie Rayonnement Vent	tous les bassins	Météo nationale	mesures en continu	important pour les modèles de production primaire	environ 600 F par site
Bassins versants	Débit (eau douce) Flux minéraux (azote)	tous les bassins local	SRAE Agence de l'Eau	journalier variable	peu fiable car les objectifs sont très différents	aucun
	Surface	tous les bassins			important pour connaître les débits effectifs	aucun
Conditions hydro-biologiques	Température Salinité Turbidité (seston) Chlorophylle Phéopigments Phytoplancton	tous les bassins tous les bassins tous les bassins local tous les bassins tous les bassins	IFREMER DEL REPHY	15 jours en hiver 7 jours au printemps et en été	les facteurs intervenant généralement dans les modèles de production conchylicole sont la température, le seston (minéral et organique) ainsi que la chlorophylle et les phéopigments	aucun
Bassins ostréicoles	Surface Volume Surfaces concédées	à calculer	SHOM		caractéristiques fondamentales du bassin	1 à 2 jours de travail par site
	Biomasse en élevage Structure des populations	inconnu			essentiel mais l'effet des stocks est partiellement intégré dans la mesure du phytoplancton	?
Sédiment	Matières organiques	à compléter			intéressant, mais pas encore validé	0,5 jour de travail par site
Techniques d'élevage	Durée d'immersion Densité	tous les sites	Protocole REMORA		normalement standardisé	aucun

Tableau n° 2 : Nature, source, disponibilité et intérêt des différents paramètres influant la croissance des mollusques



Ces stations sont réparties sur l'ensemble de la Bretagne, mais seules les stations de jaugeage à proximité de l'embouchure fournissent une information pertinente pour expliquer les apports terrigènes dans les bassins ostréicoles. Pour cette raison, les données de débits n'ont pu être utilisées que pour les sites de Bretagne Nord.

#### 3.4.2. qualité des cours d'eaux et richesse en nitrate et phosphate.

A défaut d'un suivi des concentrations de nitrates et phosphates dans les cours d'eau, au niveau des stations de jaugeage (ce qui fournirait les flux de sels nutritifs exportés vers le milieu marin), on peut utiliser la classification réalisée par l'Agence de Bassin Loire-Bretagne pour les cartes de qualité des cours d'eau (mise à jour de 1989). Ces cartes ont pour vocation de synthétiser la qualité du milieu, et de mettre en exergue les zones polluées. Une zone de mauvaise qualité est donc une zone riche en sels nutritifs, et permettant (à débit égal) des flux plus importants vers les eaux marines.

Ces cartes fournissent une information moyenne sur les sites, à partir de mesures effectuées entre 1982 et 1988, et ne reflètent pas les évolutions de qualité des cours d'eau, ni l'état pour la période 1989 à 1992. De plus, ces mesures sont réalisées pour chacun des cours d'eau, et il peut se révéler difficile de caractériser des bassins dont certaines rivières sont classées comme bonnes, et d'autres mauvaises, avec des cours d'eau de qualité intermédiaire (c'est le cas de la rivière d'Etel).

Enfin, il se pose un problème lié à la nature qualitative de la description par classe dans les analyses de type Analyses en Composante Principale, ou régression linéaire. Pour lever cette difficulté, une valeur a été attribuée à chaque classe, ce qui a une signification effective, puisque les classes sont établies à partir de valeurs quantitatives (cela permet en plus de résoudre, en partie le problème des bassins dont les rivières se classent en plusieurs catégories, puisque l'on peut faire des moyennes, en pondérant par le débit de la rivière).

### **3.5. les données climatologiques**

Les facteurs climatiques exercent leur influence sur l'ensemble des paramètres environnementaux : ils déterminent les apports des sels nutritifs en contrôlant les régimes hydrologiques des bassins versants et les exportations (e.g., lessivage), ils régulent la production primaire (énergie solaire, température) et l'activité métabolique des organismes, ou encore déterminent pour partie les mouvements de la masse d'eau (action du vent sur les courants). Ils se placent donc en amont de la plupart des processus aboutissant à la production ostréicole, et doivent être intégrées à un modèle statistique, en particulier pour expliquer les variations interannuelles de performances.

La couverture régionale du suivi météorologique permet de disposer pour chaque site d'une série de données (température, pluviométrie, ensoleillement) sauf pour la rade de Brest et l'Aber Benoît qui correspondent à la même station, de même que les sites du Morbihan.

### **3.6. tableau synoptique**

Le tableau n° 2 présente l'ensemble des paramètres utilisés, leur source, les sites pour lesquels ces données sont disponibles, le coût et l'effort d'acquisition, et leur intérêt.

#### 4. méthodologie d'étude et d'exploitation de la base de données disponibles

L'approche statistique est apparue comme la plus adaptée aux objectifs d'étude des performances conchylicoles en relation avec l'environnement. Il ne s'agit en effet pas de formuler des modèles déterministes, dans lesquels les différents mécanismes d'enrichissement du milieu (ou appauvrissement), de production primaire et de production ostréicole seraient identifiés et quantifiés. L'objectif de base est de comprendre l'origine des différences existant entre les différents sites, et d'appréhender pour chacun d'eux les sources de variabilité annuelles.

Schématiquement, l'approche statistique consiste à "faire le tri" entre les différents paramètres, pour retenir ceux apportant réellement une information nouvelle, éliminer les données redondantes, et tester les liaisons existant entre milieu et croissance. Les méthodes d'analyse multivariée permettent de répondre aux deux premiers points. Elles permettent en plus de construire de nouvelles variables (combinaisons linéaires) exprimant de manière synthétique les différences entre les individus observés. Brown (1988) a eu recours à des analyses multivariées (Analyse Discriminante) sur des descripteurs environnementaux pour construire des variables ensuite utilisées pour expliquer des croissances d'huître creuse *Crassostrea gigas* dans une étude portant sur dix sites de Colombie Britannique.

La deuxième catégorie de méthodes repose sur les régressions linéaires ou non linéaires des résultats de REMORA par les données de milieu, ou par les axes des analyses multivariées. Ce type d'approche a déjà été utilisé dans des situations analogues pour expliquer des résultats de croissance en fonction de facteurs environnementaux : Gouletquer et Bacher (1988) ont procédé à une régression non linéaire d'axes factoriels pour modéliser la croissance de *Ruditapes philippinarum* dans le bassin de Marennes-Oléron.



## Chapitre II : Etude statistique des relations milieu-performances conchyliques.

L'objectif final de l'approche statistique est de fournir un modèle global expliquant le niveau moyen de croissance de chaque site la variabilité annuelle en fonction de descripteurs environnementaux. Dans la mesure ou nombre de paramètres environnementaux font d'ores et déjà l'objet de suivis, il convient de savoir si ces mesures peuvent utilement entrer dans le modèle global de croissance des huîtres.

Dans ce chapitre, il ne s'agit pas d'établir le modèle définitif, mais plutôt de tester les relations entre les performances ostréicoles et les facteurs environnementaux disponibles ; en provenance de réseaux de suivi autres que conchyliques (e.g., suivis du milieu, santé humaine, pollution).

### **1. matériels et méthodes**

#### **1.1. nature des données analysées**

##### 1.1.1. les données de croissances :

Les données décrivant la production conchylicole utilisées dans cette étude statistique sont :

- poids moyen individuel,
- gain de poids par poche,
- gain de poids moyen individuel,
- rendement (rapport du gain de poids de la poche à son poids de départ),
- indice de qualité (norme AFNOR),
- longueur,
- épaisseur,
- poids de coquille vide
- poids de chair
- infestation par le parasite *Polydora*, (pourcentage d'huîtres très infestées).

Les protocoles de mesure de ces paramètres sont présentés dans les rapports annuels de résultats du réseau (Le Bec, 1990 et Le Bec, Mazurié, 1992). D'autres mesures réalisées dans le cadre du réseau ne figurent pas dans ces analyses : il a été jugé préférable de ne pas utiliser certaines variables redondantes n'apportant qu'une faible information supplémentaire, pour simplifier l'interprétation des résultats.

Suite à un problème technique ayant retardé la mise en élevage des huîtres en 1989, seules les données de 1990 à 1992 ont été exploitées ici : les résultats de 1989 étaient sujets à caution (pour une comparaison inter année), puisqu'il manque plusieurs semaines de printemps, où la croissance est généralement importante.



### 1.1.2. les données de milieu.

Le problème le plus important rencontré lors de la reconstitution de la base de données “milieu” fût d'obtenir des séries de données complètes pour tous les sites. Le traitement de fichiers contenant des valeurs manquantes pose des difficultés pour l'instant insurmontables en analyse multivariée. Il a donc fallu éliminer certaines variables disponibles pour quelques sites seulement. A défaut de pouvoir étudier tous les sites ensembles, des analyses intermédiaires ont porté sur la Bretagne Nord uniquement.

Les variables utilisées ici proviennent de :

- *IFREMER-DEL, réseau REPHY*, pour le nombre de **Diatomées**, de **Dinoflagellés**, le **phytoplancton** total, la **température de l'eau**, la **salinité**, et la **turbidité**. Le pas de mesure de ces paramètres est théoriquement bimensuel ou hebdomadaire. Il est donc nécessaire d'utiliser des moyennes saisonnières pour expliquer les croissances, mais on n'a pu disposer d'une moyenne reposant sur suffisamment d'individus que pour le deuxième trimestre de chaque année. Cette limitation n'est cependant pas très contraignante, car cette période correspond à l'essentiel de la pousse des huîtres.
- le *laboratoire Hydrodynamique et Sédimentologie IFREMER Brest*, pour les données courantologiques de Bretagne Nord, **vitesse instantanée**, **vecteur de courant résiduel**, **capacité dispersive**, **indice de stratification** et **temps de résidence**, modélisées dans le cadre du programme de cartographie des zones sensibles à l'eutrophisation.
- le *Système d'Information Géographique du BRGM*, pour les **surfaces** des bassins versants.
- la *Météorologie Nationale*, pour les données climatiques de **températures** (moyenne annuelle et écart type, représentant l'amplitude thermique), de **pluviométrie** (cumul annuel) et de **rayonnement net** (calculé à partir de l'ensoleillement et de la température).
- le *Centre Administratif des Affaires Maritimes*, pour les **surfaces exploitées** ; le **taux d'occupation** a été calculé en rapport à la surface des zones de production. Ces données sont considérées constantes sur la période.
- enfin, les **surfaces** des zones de production, les **volumes** d'eau correspondants, les **débits** pour une marée moyenne, et les **temps de résidence** ont été calculés à partir des *cartes hydrographiques du SHOM*.

Les autres paramètres présentés dans le chapitre I. ont été l'objet d'analyses complémentaires, mais n'ont pas apporté de renseignements significatifs, souvent du fait du trop petit nombre d'individus intervenant dans l'analyse.

## **1.2. typologie des bassins**

La première étape de l'étude statistique a consisté à établir des typologies des bassins basées soit sur les performances de croissance, soit sur les caractéristiques de milieu. L'objectif de ces typologies est de déterminer les facteurs décrivant au mieux les différences entre les sites, afin de concentrer à l'avenir l'effort sur ces paramètres “prioritaires”.

C'est aussi une étude exploratoire destinée à préparer la mise en place d'un modèle statistique.

Ces typologies ont été réalisées par des Analyses en Composantes Principales (ACP) et des Analyses Factorielles Discriminantes (AFD). L'ACP permet d'une part de représenter les liaisons existant entre les variables, et d'autre part de représenter les stations dans des plans maximisant la variabilité entre les points. Les axes ainsi construits synthétisent l'ensemble de l'information des variables utilisées et permettent de formuler les critères de différenciation des individus statistiques.

L'AFD requiert de répartir les différents individus en classes. Dans le cadre de ce travail, le critère de classification retenu est le site. L'AFD construit alors des axes factoriels maximisant la différence entre les sites et minimisant la différence entre les points d'un même site.

Ces analyses ont été réalisées séparément sur les données de croissance et sur les données de milieu. Pour les données de croissance, les analyses ont aussi été réalisées année par année, pour étudier les différences existant entre les sites, indépendamment des variations annuelles. Par contre, cette décomposition n'a pas été possible pour les données de milieu, car le nombre d'individus restant alors pour chaque année n'était pas suffisant pour permettre ce type d'analyse. Pour les typologies sur le milieu, les variables de croissance ont été utilisées comme variables supplémentaires, ce qui permet de représenter les liaisons entre variables milieu et croissance.

### **1.3. explication des croissances par les facteurs environnementaux**

Une ébauche de modèle statistique a été tentée à partir des données disponibles. Cet essai a été réalisé par différentes régressions linéaires multiples expliquant différents facteurs de la croissance (indice de qualité, poids moyen final, longueur). Par ailleurs, les axes construits par l'ACP sur les croissances (exprimant théoriquement l'essentiel de l'information) ont aussi fait l'objet de régressions par les facteurs environnementaux.

## **2. résultats**

### **2.1. typologie des croissances**

L'ensemble des ACP (toutes années confondues ou année par année) aboutissent à la formation d'un premier axe représentant la croissance pondérale et un deuxième axe représentant l'infestation par le *Polydora*.

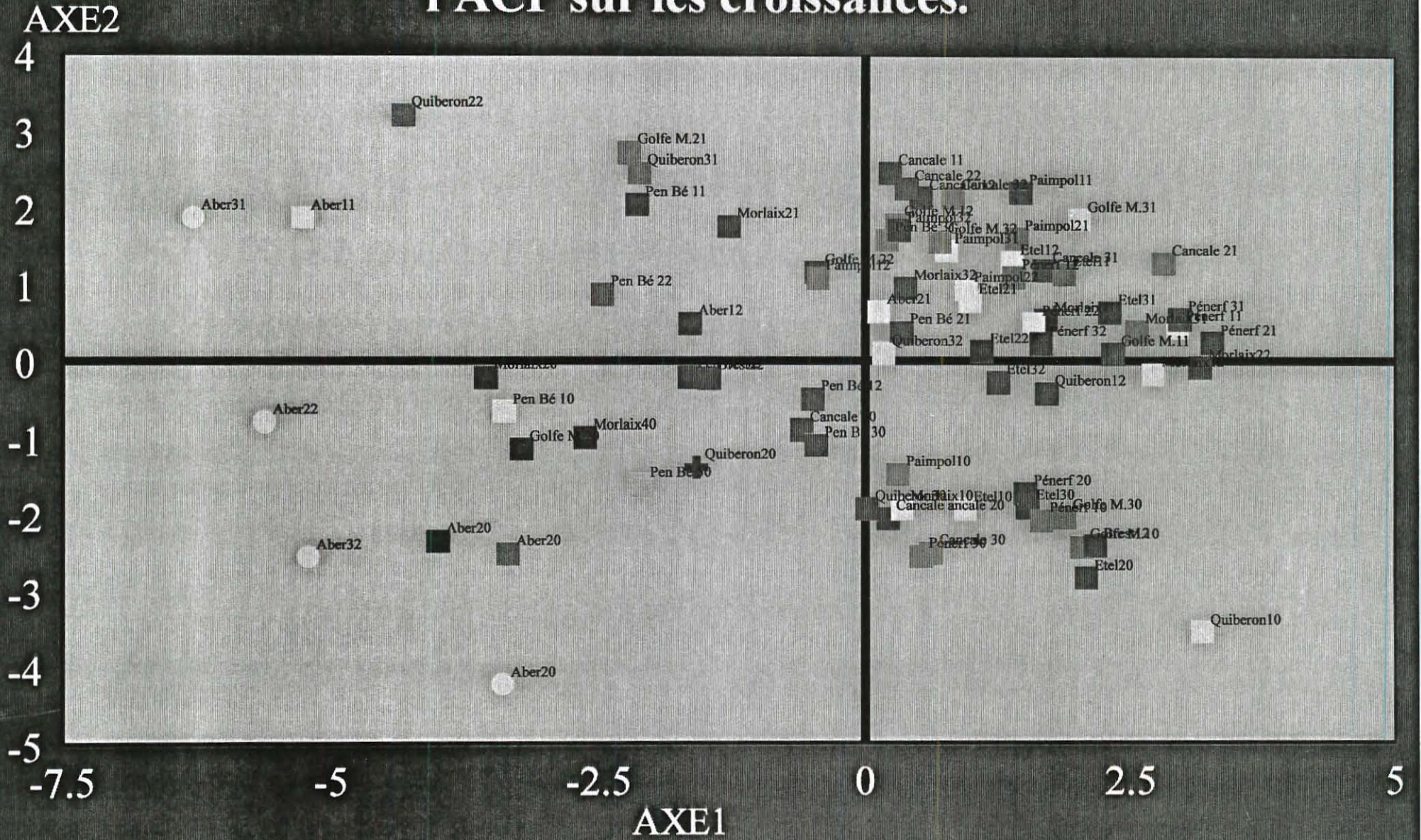
Le premier axe permet d'expliquer l'essentiel des différences de croissance : 46,7 % pour l'analyse complète, 50,8 % pour 1990, 55,1 % pour 1991 et 47,1% en 1992. Il est très corrélé aux variables poids de coquille vide et poids de chair (les corrélations au carré sont respectivement de 0,9260 et 0,8593 pour l'analyse complète, et sont du même ordre de grandeur pour les analyses par année). Les autres variables intervenant de façon importante dans la construction du premier axe sont l'épaisseur (corrélation au carré de 0,7937 pour l'analyse complète) et le rendement de la poche (corrélation au carré pour l'analyse complète de 0,7947).

Le deuxième axe représente 28,7 % de la variabilité totale pour l'analyse complète (28,7 %, 16,9 % et 22,8 % pour 1990, 1991 et 1992). Il représente essentiellement l'infestation par le *Polydora*.

La **figure 8** représente le nuage des individus dans le plan composé par les axes 1 et 2 de l'analyse mêlant les trois années. Ce graphique illustre plusieurs points :



**Figure 8. Représentation des individus sur les axes 1 et 2 de l'ACP sur les croissances.**





### 1. variabilité inter-annuelle :

- l'axe 1 (poids de coquille vide et poids de chair) révèle des résultats légèrement supérieurs en 1991 qu'en 1992, pour la plupart des sites, alors que l'on note une légère augmentation des poids bruts en 1992.
- par contre, pratiquement tous les sites ont été plus atteints par le parasite *Polydora* en 1992, et relativement moins en 1991.

### 2. différences inter-sites :

- l'Aber Benoît se distingue des autres sites par des croissances plus importantes sur les trois années, avec des résultats homogènes (les croissances sont représentés par la projection sur l'axe horizontal), mais une grande sensibilité au *Polydora* (forte amplitude sur l'axe vertical),

- Pen Bé présente une configuration similaire à l'Aber Benoît (des croissances supérieures à la moyenne des sites bretons) même si la sensibilité au *Polydora* semble moindre,

- le site de Morlaix présente une nette dégradation des résultats de croissance de 1990 à 1992, sans trop de différences du point de vue du parasitisme,

- Quiberon et le Golfe du Morbihan sont deux sites dont les performances de croissance sont relativement hétérogènes entre les différentes stations, mais stables d'année en année. Quiberon connaît taux d'infestation moindres par rapport au Golfe du Morbihan,

- Cancale et Paimpol présentent des configurations analogues, avec des croissances moyennes et homogènes entre les différentes stations de suivi, et de faibles taux d'infestation par le *Polydora*,

- enfin, Pénérf et Etel sont deux sites très homogènes, ne présentant pratiquement pas de différences entre les stations aval et amont, très peu d'évolutions annuelles pour la croissance, des taux d'infestation moyens, mais avec les plus mauvaises performances de croissance de l'ensemble des sites.

Les AFD quant à elles aboutissent à la formation d'un premier axe représentant l'indice de qualité et le poids de chair, dont l'inertie est de 68,4 % (c'est-à-dire la part de variabilité du nuage de point expliqué par cet axe). L'analyse des graphiques renforce les remarques précédentes, mais permet en outre de figurer les barycentres, c'est-à-dire la moyenne de chacun des sites.

## 2.2. étude des caractéristiques environnementales des sites

Plusieurs analyses ont été réalisées sur les données de milieu. Le recouplement des résultats est délicat dans la mesure où chaque fichier analysé diffère des autres par les individus représentés et par les variables. De plus les résultats ne sont souvent pas très marqués et restent difficiles à interpréter. Les résultats présentés ici sont ceux les plus représentatifs.



Figure 9. Représentation des individus dans l'espace des axes 1, 2 et 3 de l'ACP milieu

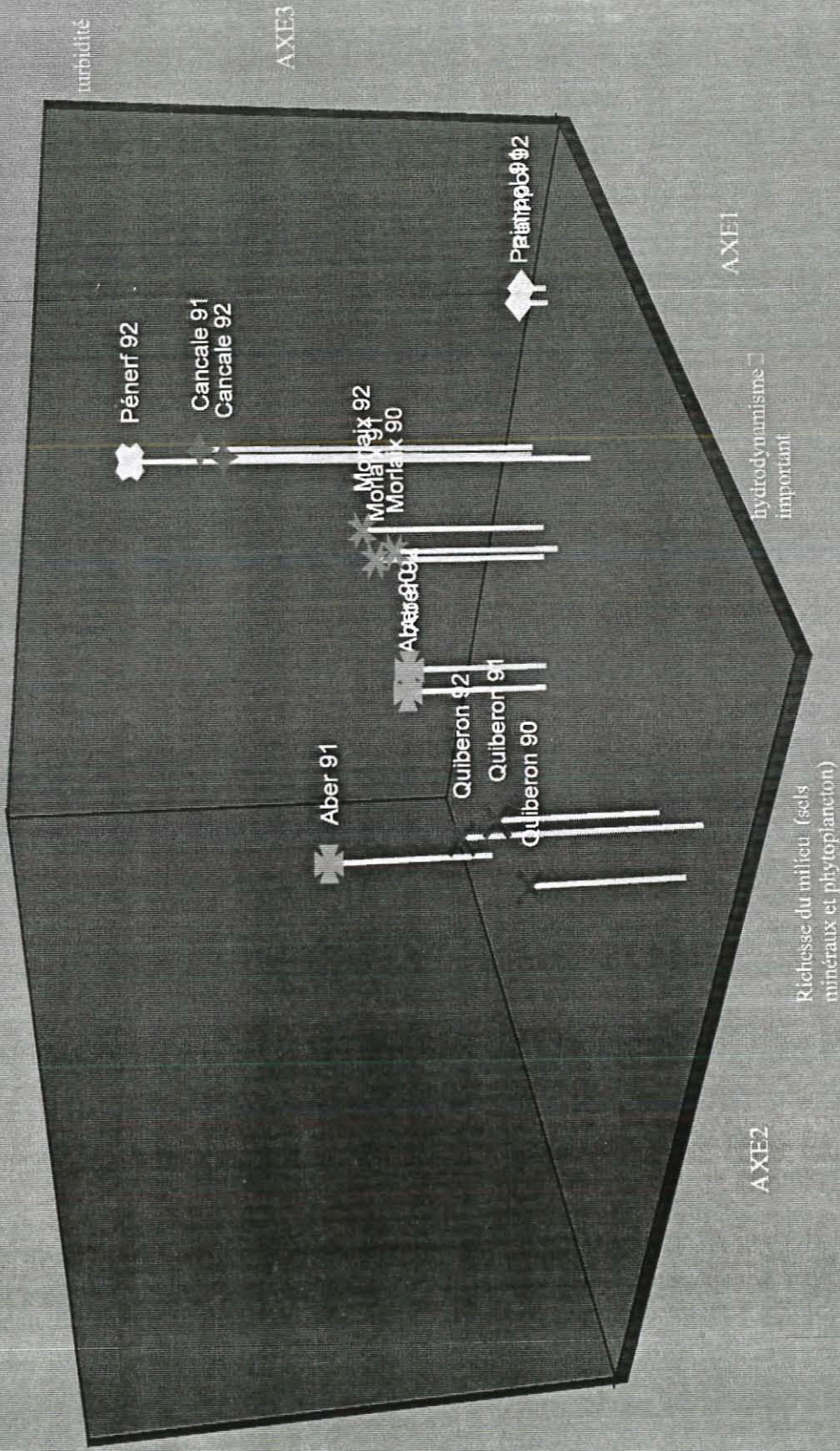
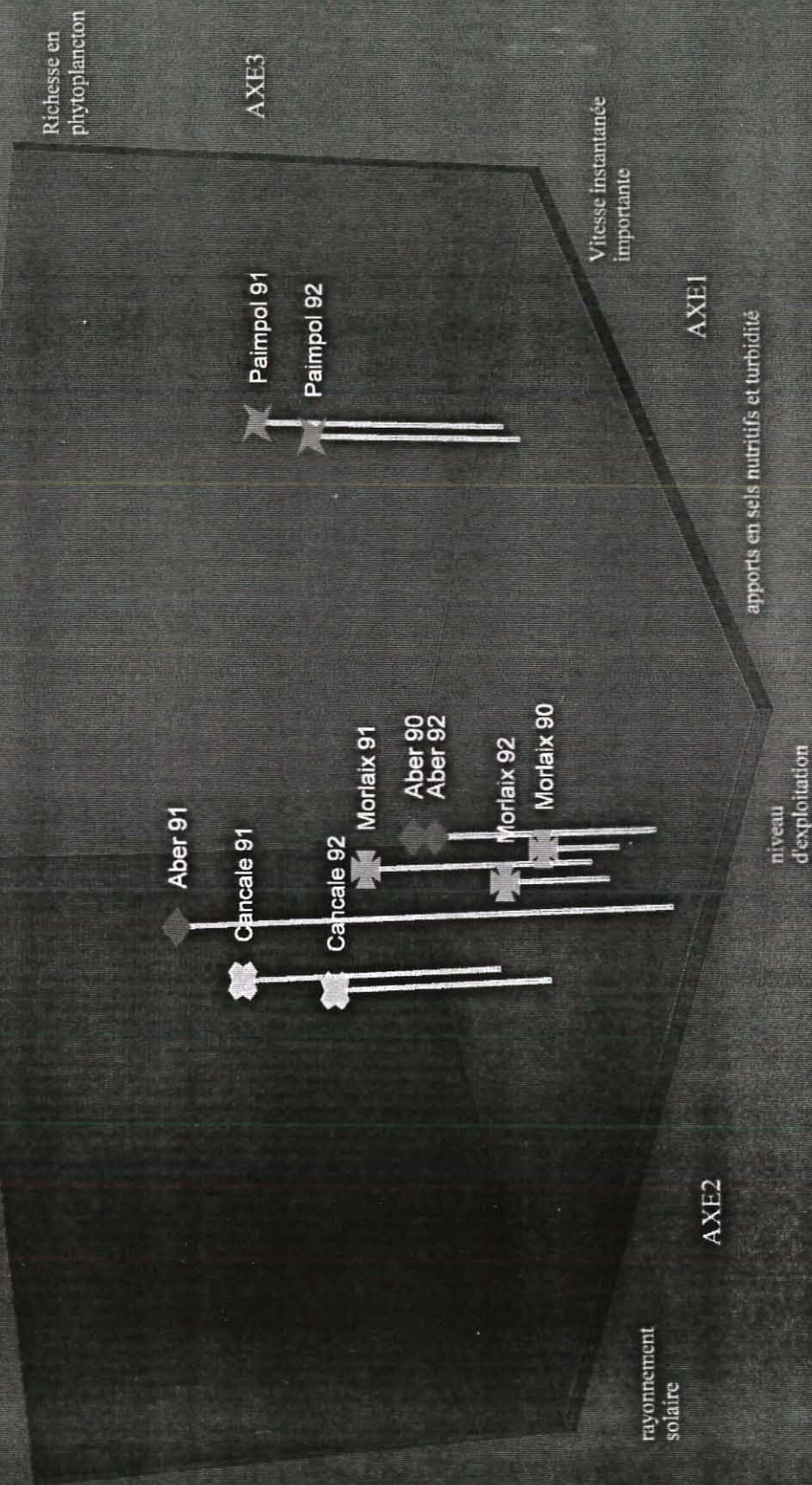




Figure 10. Représentation des individus dans l'espace des axes 1, 2 et 3 de l'ACP Bretagne-Nord





L'analyse la plus complète (**figure 9**) fait intervenir les sites de Cancale, Paimpol, Morlaix, Aber Benoît, Quiberon et Pénerf. Le Golfe du Morbihan n'y figure pas, car on ne peut disposer d'une série de données suffisantes pour les aspects hydro-biologiques ; Pen Bé et Etel quant à eux ne sont pas hydrographiés, ce qui empêche de calculer les différents paramètres de surfaces, volumes, débits et temps de résidence.

Il faut utiliser les trois premiers axes pour expliquer 80 % de la variabilité (respectivement 30,4 %, 24,2 % et 15,6 % pour les axes 1, 2 et 3). Le premier axe est construit à partir du temps de résidence et des volumes de chaque bassin. L'axe 2 est fortement corrélé à qualité générale des bassins versants (0,5771), c'est-à-dire aux apports de sels nutritifs ; c'est donc un axe qui permet d'exprimer la richesse trophique du milieu. Le troisième axe enfin est corrélé à la qualité des rivières en nitrates, et à la température de l'eau.

L'ACP sur les données disponibles pour la Bretagne Nord tend à opposer sur l'axe 1 les sites à hydrodynamisme important et ceux à turbidité élevée (**figure 10**). Le premier axe oppose par ailleurs les sites dont les débits d'eau douce sont importants à ceux dont la qualité générale des cours d'eau est mauvaise, mais il est difficile d'interpréter cela en terme de richesse des apports, car les flux sont le produit d'une concentration (qualité) et d'un débit, et qu'il n'est pas possible de calculer la valeur de ces flux à partir d'un découpage en classes des concentrations de sels nutritifs. Cet axe oppose le site de Paimpol, fort hydrodynamisme, à Cancale (site ouvert sur le large, mais où les temps de résidence sont plus importants), Morlaix et l'Aber Benoît. Le deuxième axe présente un classement des sites par le pourcentage d'occupation (rapport des surfaces exploitées à la surface du bassin de production), Cancale étant le site le plus chargé suivi de Morlaix, de l'Aber Benoît puis de Paimpol. Ce classement n'apporte cependant pas d'information nouvelle pour l'explication des croissances.

### 2.3. relations croissance-environnement.

La mise en relation des typologies de croissance et de milieu, avec pour but de déterminer les facteurs de milieu expliquant les différences de croissances, et ceux expliquant le niveau de performance moyen de chaque site, a été réalisée d'abord par des ACP, en utilisant certaines variables comme variables supplémentaires, en mêlant variables de milieu et variables d'environnement, et par des régressions linéaires.

Il est particulièrement intéressant de noter la similarité de la typologie des sites sur l'axe 2 et de la répartition des bassins sur l'axe de croissance des ACP présentées précédemment. Ceci tend à exprimer la relation entre croissance et qualité trophique du milieu.

Cette ACP a été réalisée en utilisant les variables de croissance comme variables supplémentaires. Ces variables sont assez fortement corrélées à l'axe 2, et pratiquement pas à l'axe 1. En particulier l'indice de qualité et le poids de chair présentent des corrélations carrées de 0,4071 et 0,3765 avec l'axe 2 (constitué par la qualité générale et la richesse en phytoplancton). Cela indique bien une relation entre croissance et richesse trophique du bassin.

Les ACP mêlant données de croissances et données de milieu n'apportent par contre aucun résultat probant, dans la mesure où les variables de croissance constituent le premier axe et celles de milieu sont corrélées au second, construisant ainsi un axe milieu indépendant de l'axe croissance.



Enfin, plusieurs régressions ont eu pour but de tester les relations entre les différents paramètres. Mais là encore les résultats ne sont pas significatifs. Ces régressions ont été réalisées dans l'objectif du modèle global, c'est-à-dire sans considération sur les mécanismes de production présentés sur la **figure 5**. L'explication des variables de croissance (Indice de qualité, poids de chair) par des régressions linéaires multiples, à partir des descripteurs environnementaux disponibles actuellement n'est pas significative (coefficients de corrélation  $R^2$  forts, mais distribution des résidus non normale). Les essais d'explication des axes de l'ACP croissance (**figure 8**) n'ont pas été plus concluants. Les explications intermédiaires ne se sont pas révélées beaucoup plus significatives : ainsi, même si le modèle semblait validé par la distribution normale des résidus, les coefficients  $R^2$  restent relativement faibles, montrant les limites de l'explication (pour la régression du poids de chair et de l'indice de qualité en fonction de la richesse en diatomées, élément principal de l'alimentation décrit par le réseau REPHY, les coefficients  $R^2$  sont respectivement de 0,1759 et 0,1406).

### 3. discussion : limites de l'étude en cours.

Deux conclusions se dégagent de l'ensemble des analyses statistiques réalisées à partir des données disponibles :

- les typologies de sites font apparaître des performances proches pour des sites de même profil (Cancale et Paimpol, Pénerf et Etel, et dans une moindre mesure Pen Bé et l'Aber Benoît), et la confrontation des analyses effectuées à partir des croissances et à partir des caractéristiques environnementales semble montrer que la richesse des sites, décrite par les paramètres phytoplancton et (mauvaise) qualité des cours d'eau, est déterminante dans les niveaux de croissance conchylicole. Les sites riches semblent d'autre part être les plus sensibles tant du point de vue des croissances (fortes variabilités annuelles), que des problèmes de parasitisme (infestation par le Polydora).

- il n'est actuellement pas possible de formuler l'effet des différentes variables milieu sur la croissance (c'est-à-dire d'exprimer les différents termes de modèles régressifs), ni même de préciser l'effet de chacun des descripteurs environnementaux sur les différentes composantes de la production ostréicole (coefficient de corrélations ou coefficients de détermination des régressions).

Cependant, ces conclusions doivent être nuancées par les limites d'utilisation de ces données.

Pour la croissance, les contraintes imposées par les données sont essentiellement liées à la mesure annuelle en fin d'élevage des performances de croissance : on ne peut que comparer le résultat final, sans pouvoir observer des variations saisonnières. Par ailleurs le problème de représentativité des stations de suivi n'est pas encore résolu, ce qui peut être gênant pour les sites hétérogènes (Aber Benoît, Quiberon, Golfe du Morbihan). Il est en effet délicat d'interpréter les résultats pour ces sites puisque l'on dispose essentiellement d'informations sur le milieu à l'échelle du bassin de production, et peu d'éléments sur les sources d'hétérogénéité au sein des bassins.



La question de la représentativité des données de milieu pose aussi un problème, d'autant que ces mesures sont le résultat d'échantillonnages à des fins très différentes de l'estimation des capacités trophiques (pollution, santé humaine). De plus, les stations de suivi peuvent être relativement éloignées des zones de production ostréicole : par exemple, les prélèvements d'eau dans les cours d'eau se font fréquemment très en amont des embouchures, à proximité des points de prélèvements pour la consommation humaine. De même, le suivi REPHY ne concorde pas exactement avec le point REMORA, comme par exemple pour Pénerf, où seul sont suivis (en cas d'alarme) les Dinoflagellés, et où les comptages de Diatomées (fraction principale du suivi REPHY consommée par les huîtres) sont issus de Baie de Vilaine.

Enfin, il convient de signaler que les résultats présentés ici ne sont pas nécessairement très robustes, dans la mesure où plusieurs autres analyses (ACP, AFD, Classification Automatique, régressions) n'ont pas fourni de résultats nets. Mais il est difficile de savoir si cela est dû à une faiblesse des relations ou à un manque de précision des données exploitées.

## **Chapitre III :** **Discussion et perspectives.**

Ce troisième chapitre a pour objet :

- 1 de faire le bilan des contraintes et limitations d'ordre méthodologiques et pratiques, pour comprendre pour quelles raisons les études à partir des données actuelles ne permettent pas d'établir un modèle statistique,*
- 2 de définir et hiérarchiser les thématiques à étudier à moyen et long terme,*
- 3 de définir les objectifs et les moyens d'un programme de recherche appliquée dont l'objectif final est de fournir un outil permettant de comprendre et suivre l'évolution d'un ensemble de sites de production ostréicole.*

### **1. les limites de l'approche statistique**

Les principales limites de l'étude statistique du chapitre II. proviennent des données utilisées. On peut les classer en :

- les limites d'échelle spatiale ou temporelle,
- les limites liées à la nature des paramètres suivis et aux stratégies d'échantillonnage imposées par les objectifs premiers du suivi,
- les limites d'affectation géographique des descripteurs.

#### **1.1. aspects spatio-temporels de la stratégie échantillonnage**

Le problème de pas de mesure se pose particulièrement lorsque l'on confronte plusieurs données : on essaye par exemple d'expliquer des croissances mesurées annuellement par des données météorologiques suivies heure par heure. La principale limite provient du protocole de suivi des huîtres, puisqu'une mesure annuelle ne permet pas de refléter les différences saisonnières : on peut par exemple expliquer une forte pousse, comme celles de l'Aber Benoît, par de très fortes disponibilités alimentaires sur une période courte, ou au contraire par un niveau moyen prolongé sur plusieurs saisons. Cette distinction permettrait d'affiner les typologies de croissance. Cette limite a été levée par le passage à un suivi trimestriel, depuis 1993, pour le réseau REMORA.

Lorsque le pas de mesure de la variable d'environnement est trop court par rapport aux phénomènes que l'on cherche à décrire, l'utilisation de moyennes ou sommes, assortie des variations (écarts type ou des amplitudes), constitue une solution partielle. En outre, les échantillonnages sont dans la pratique soumis à des aléas (par exemple, certains prélèvements REPHY peuvent être empêchés par les mauvaises conditions climatiques) : responsables en final d'une variabilité non négligeable dans les pas de mesure.

Enfin, la variabilité spatiale et le manque de validation des points de prélèvement, en particulier pour les points de suivi REMORA, limite aussi la représentativité des résultats.

#### **1.2. nature des paramètres**

La deuxième source de contraintes est liée à l'utilisation de données provenant de réseaux de suivis divers, et surtout dont les objectifs peuvent être très différents, voire antagonistes.



Ainsi le suivi des débits et flux minéraux au niveau des bassins versants a pour objectif de base l'utilisation des ressources en eaux par l'homme et le suivi des pollutions. Les stations de jaugeage ou de prélèvements peuvent être situées relativement en amont de l'embouchure, dans des zones de prélèvements d'eau potable en particulier, ce qui peut introduire un biais. Ailleurs, les mesures sont concentrées sur une période donnée (par exemple les mesures de qualités de l'eau de baignade effectuées par la DDASS se concentrent en période estivale).

De même, les suivis de paramètres hydro-biologiques par IFREMER-DEL ont des objectifs multiples : surveillance du milieu, santé humaine ou santé des cheptels. La stratégie des points d'alerte pose en particulier un problème important, les prélèvements n'étant déclenchés que lorsque la présence d'éléments toxiques est détectée, souvent en période de bloom, ce qui entraîne une surestimation de la capacité trophique moyenne, si on ne considère que ces points (souvent plus intéressants que les points de suivis car plus proches des stations REMORA).

Enfin, les paramètres mesurés pour ces suivis ne correspondent pas forcément aux besoins des modèles de croissance : par exemple, le suivi des populations phytoplanctoniques ne s'intéresse qu'aux cellules d'au moins une dizaine de microns. Or les particules de tailles inférieures peuvent entrer pour une part importante dans l'alimentation des huîtres, surtout lors de bloom d'espèces de petite taille. Le suivi de la chlorophylle, intégré depuis peu dans le réseau REPHY, devrait permettre là encore de résoudre ce problème.

Pour pouvoir reconstituer des séries de données complètes pour l'ensemble des paramètres, en évitant les données manquantes, il faut éventuellement amalgamer des mesures d'origine différentes : en particulier pour le suivi des flux de sels nutritifs, nombre d'études locales sur les nitrates sont disponibles (par exemple l'étude du Cabinet Bourgeois (1993) sur le bassin versant du loch, les bilans azotés et les mesures de flux dans la rivière), mais les protocoles varient, les périodes et les pas de mesure sont différents. Il faut donc reconstituer et valider l'ensemble des données, ce qui représente en soi un travail important. De plus, l'éclatement des organismes assurant des mesures sur le milieu et l'absence d'un système de base de données régionale complique le recueil des données existantes.

### **1.3. limites géographiques des descripteurs**

Un premier problème méthodologique se pose dans certains sites où la variabilité de croissance intra-site est extrêmement importante (par exemple Quiberon, ou l'Aber Benoît en 1991) tandis que l'on ne dispose actuellement d'aucun descripteur de milieu intra-bassin susceptible de refléter ces différences.

Deuxième difficulté, la correspondance entre zone de production ostréicole et bassin versant n'est pas encore établie : il convient en effet d'étudier les caractéristiques hydrologiques et biologiques (courantologie, stratification, température, chlorophylle,...) de chaque secteur, afin de délimiter la masse d'eau à étudier et de prendre en compte les apports de l'ensemble des bassins versants alimentant cette unité. Les sites du Morbihan illustrent parfaitement cette situation : faut-il prendre en compte les apports de la Vilaine, voire de la Loire, ou se limiter aux petits bassins versant situés face à Pen Bé, Pénerf ou de Quiberon.

Cette étude nécessite de disposer de modèles courantologiques adaptés aux problèmes biologiques, comme celui de Bretagne Nord pour l'eutrophisation, pour l'ensemble de la Bretagne, mais se heurte à des manques de données de base, comme la l'hydrographie des zones amont de la rivière d'Étel ou de Pen Bé.



## 2. hiérarchisation des thèmes à étudier

Les contraintes et limites identifiées dans les parties précédentes permettent de définir des ensembles thématiques à étudier, ainsi que leur degré de priorité.

### 2.1. délimitation du domaine littoral influant sur les sites ostréicoles

La délimitation d'une zone d'élevage à partir de documents cartographiques (cadastre conchylicole) ne pose pas de problème. Par contre, la détermination de l'espace marin le plus homogène possible auquel vont s'appliquer les différentes variables de l'étude est plus délicate, en particulier pour les bassins les plus ouverts, non délimités par le tracé des côtes et sujets à des apports océaniques mal définis.

#### 2.1.1. étude hydrodynamique :

Les modélisations courantologiques disponibles ne répondent pas toutes aux besoins de l'étude régionale des performances conchylicoles. L'approche statistique envisagée demande des critères ayant une influence déterminante sur la production primaire. Ceux retenus pour la Bretagne Nord dans le cadre de l'étude des zones sensibles à l'eutrophisation (vitesse instantanée, courant résiduel, indice de stratification, capacité dispersive et temps de résidence) semble tout à fait adaptés à la problématique croissance et milieu. Il serait donc souhaitable de prolonger cette modélisation vers la Bretagne Sud ce qui permettrait de disposer d'une source de données complète et homogène pour l'ensemble des sites étudiés.

Par ailleurs, utiliser une maille plus fine pour les modèles courantologiques apporterait quelques éléments pour l'explication de la variabilité intra-site. Cependant les faibles dimensions de certains bassins, par exemple l'Aber Benoît, Etel, Pénerf ou Pen Bé, imposerait alors un maillage très fin, dans la limite des contraintes physiques (en particulier, réseau bathymétrique suffisamment dense) et de la disponibilité des données de base (Etel, et Pénerf ne sont pas hydrographiées dans les parties supérieures).

#### 2.1.2. cartographie de la capacité trophique et influence terrigène

L'étude satellitaire est aussi un moyen puissant permettant de cartographier certaines caractéristiques des masses d'eau, et délimiter des unités homogènes. Cet outil n'est cependant pas le plus adapté pour une étude très locale : l'analyse et l'interprétation des images obtenues en milieu littoral sont rendues difficiles par les faibles profondeurs, et les phénomènes de turbidité. Par contre, à une échelle plus large, il devrait permettre de déterminer certains éléments, comme l'influence des grands fleuves (Vilaine, et Loire) ou les caractéristiques physiques des masses d'eau (température, stratification), contribuant ainsi à identifier les grandes unités.

Enfin l'utilisation de la télédétection pour établir des cartes de chlorophylle à différentes époques serait un moyen de mieux cerner le volet océanique des apports, non régi par les flux des bassins versants les plus proches.

#### 2.1.3. intérêt de l'approche cartographique.

La représentation cartographique des entités hydrologiques et biologiques (richesse en phytoplancton) est une nécessité pour délimiter les masses d'eau influençant les zones ostréicoles. Cette délimitation est fondamentale, si l'on veut mettre en place un modèle statistique, car il importe de cerner les limites et domaines d'application des variables retenues.



## 2.2. acquisition de nouvelles données

### 2.2.1. estimation des stocks

L'évaluation des biomasses en élevage est indispensable. Les ostréiculteurs sont en principe astreints à déclarer leur production annuelle, mais en aucun cas les stocks en place ou la structure des populations sur parc.

Les moyens généralement utilisés à IFREMER pour l'estimation des stocks utilisent un échantillonnage sur photographies aériennes combiné à un échantillonnage sur le terrain (Bacher, 1984). L'utilisation de nouvelles méthodologies, par exemple l'acquisition par vidéo embarquée à bord d'avion d'images basse altitude, et l'automatisation des traitements (de Pontual, 1989) pourrait satisfaire aux contraintes d'une étude à l'échelle de la Bretagne.

Cependant, il est paradoxal de devoir mettre en oeuvre des moyens coûteux et laborieux (acquisition d'image, traitement informatique, échantillonnage sur le terrain), pour acquérir une information d'intérêt professionnel que les conchyliculteurs détiennent.

Il serait donc souhaitable d'engager une collaboration avec la profession, pour l'évaluation des stocks en élevage dans les meilleures conditions.

### 2.2.2. caractéristiques trophiques des bassins

Le deuxième thème pour lequel une validation des données disponibles et une acquisition de données complémentaires seraient utiles est la capacité trophique des bassins. Cette connaissance n'est pas strictement indispensable à un modèle global, mais permettrait une validation intermédiaire.

## 2.3. modélisation et explication des performances de croissance

L'objectif envisagé tout au long de ce travail est la modélisation statistique et l'explication des performances de croissance des huîtres suivies dans le cadre de REMORA. La première phase de cette modélisation, objet de ce travail, était *d'identifier les données pertinentes*, et *d'acquérir celles disponibles*. La deuxième phase consiste à mettre en place une *base de données nécessaires la modélisation*.

La troisième et dernière phase est la modélisation à proprement parler. Il s'agit du *développement du modèle*, de sa *formulation* et de *l'identification des différents niveaux de déterminisme introduits* (choix du meilleur compromis possible entre modèle purement statistique et modèle déterministe), en particulier pour estimer les apports des bassins versants, et la production primaire.

### 3. les différents niveau d'étude :

#### 3.1. approche minimale

Le programme minimum souhaitable consiste à mettre en place un système de gestion de base de données en parallèle à la base REMORA et à mettre régulièrement à jour cette base à partir des descripteurs existants. Une étude cartographique des sites ostréicoles, à partir des différentes études environnementales existant au niveau local, est nécessaire pour en fixer les limites en fonction des caractéristiques des masses d'eau, du point de vue hydrodynamique, et si possible biologique. Cette délimitation permettra d'intégrer dans la base les données analogues à celles déjà utilisées, mais en tenant compte des répartitions géographiques : en particulier cela devrait valider (ou invalider) la représentativité spatiale des points de prélèvements REPHY, ou encore le découpage retenu pour les bassins versants (en particulier dans le Morbihan).

#### 3.2. effort intermédiaire

Une modélisation courantologique à une échelle suffisamment fine (dans la limite des contraintes des modèles physiques) permettrait d'accéder plus précisément à l'interprétation de l'hétérogénéité spatiale. En particulier pouvoir "pénétrer" à l'intérieur de bassins tels que l'Aber Benoît, Pen Bé, Etel, ..., apporterait de nouveaux éléments pour interpréter les résultats et valider le choix des points de suivi REMORA.

Cette modélisation fournirait en outre des données nouvelles pour l'ensemble des sites, comme les paramètres étudiés en Bretagne Nord pour l'eutrophisation (vitesse instantanée, courant résiduel, capacité dispersive, indice de stratification et temps de résidence).

Par ailleurs une étude satellitaire des teneurs en chlorophylle ou des turbidités, non pas sur la frange littorale, où l'interprétation est délicate, mais aux limites des masses d'eau, devrait permettre d'apprécier le niveau des apports océaniques.

Enfin, le dernier élément explicatif est la biomasse exploitée du site. Il conviendrait donc de consentir un effort d'échantillonnage, par photos aériennes et validation sur le terrain, afin d'estimer ce paramètre.

#### 3.3. programme complet

Le programme d'étude pour la modélisation globale des croissances suppose pour être complet de répondre à l'ensemble de limites présentées en début de chapitre. Il convient tout d'abord de mettre en oeuvre les études des caractéristiques stables des bassins de production (courantologie, apports océaniques,...). Ensuite, le modèle le plus satisfaisant n'est probablement pas le plus global : l'utilisation de modèles déterministes pour estimer certaines variables intermédiaires comme les apports des bassins versants ou la production primaire devrait permettre de formuler des modèles globaux plus robustes. Le recalage des maillons intermédiaires de la modélisation nécessite un effort d'échantillonnage particulier, surtout pour la détermination de paramètre comme la chlorophylle, ou pour un suivi plus précis des performances de croissance (mesure du potentiel de croissance).



Enfin, un des intérêts du modèle statistique est de pouvoir évoluer avec l'expérience accumulée. Le travail de modélisation présenté ci-dessus ne serait complet s'il n'aboutissait à un outil capable de *gérer les informations* introduite d'année en année, de *mettre à jour les relations* entre croissance et milieu et de fournir des *synthèses régionales* présentant l'évolution des paramètres de milieu et l'impact sur la croissance. Des outils nouveaux peuvent aider à atteindre cet objectif : l'**Intelligence Artificielle** permet l'apprentissage et l'utilisation de l'expérience pour faire évoluer les paramètres du modèle ; les **Systèmes d'Information Géographique** grâce au couplage de différentes couches de données permettent d'établir des documents cartographiques utilisables par les experts scientifiques pour diagnostiquer une situation de crise, ou émettre un avis quant à l'impact d'un aménagement affectant directement (milieu littoral) ou indirectement (milieu continental) les productions ostréicoles.

## 4. moyens d'étude à mettre en oeuvre

### 4.1. moyens humains

Différents domaines ou étapes du programme proposé relèvent de compétences et disponibilités complémentaires à celles du laboratoire Ressources Aquacoles de la Trinité-sur-Mer.

#### 4.1.1. personnel de la station

Dans l'objectif du programme minimum, la validation à partir d'études bibliographiques des paramètres utilisés pour ce rapport, et leur mise à jour régulière dans la base de données représentent une activité de base relevant du personnel du laboratoire ou de l'ensemble des laboratoires régionaux, dans l'hypothèse où ce modèle explicatif serait étendu au plan national.

#### 4.1.2. coopération avec d'autres laboratoires IFREMER ou sous-traitance

Certains points présentés dans la définition des objectifs futurs nécessitent la compétence scientifique et technique d'équipes spécialisées, soit pour la réalisation, soit pour l'encadrement de l'étude. En particulier, la modélisation hydrodynamique ainsi que les études à base de télédétection requièrent le concours des laboratoires thématiques (respectivement le laboratoire DEL Hydrodynamique et Sédimentologie, et le Département DRO Océanographie spatiale d'IFREMER).

Par ailleurs, les compétences des services du CEMAGREF, de l'Agence de Bassin Loire-Bretagne ou d'autres organismes à vocation environnementale pourraient être sollicitées pour la modélisation des apports terrigènes (essentiellement des exportations de nitrates) en milieu océanique.

#### 4.1.3. stagiaires

La hiérarchisation des thèmes à étudier pour poursuivre la modélisation globale des croissances fait apparaître plusieurs phases d'étude. Les thématiques suivantes semblent fournir des sujets intéressants pour des stages de DEA ou de DAA (ou autre) :

- étude régionale hydrodynamique et hydrobiologique, pour délimiter les zones océaniques exerçant leur influence sur les sites ostréicoles,

- estimations des stocks d'huîtres en élevage dans les sites de production ostréicole bretons. Utilisation de photos aériennes et validation sur parc.
- mise en oeuvre d'un modèle statistique régional pour expliquer les apports des bassins versants et la production primaire, et leur influence sur la croissance de l'huître *Crassostrea gigas* en Bretagne (une fois que les bases de données adéquates auront été mises en place).

#### 4.1.4. thèse

L'ampleur de l'étude complète suggère de proposer un sujet de thèse, démarrant par une étude de fond destinée à fournir les connaissances de bases manquantes, mettre en place un protocole de suivi des caractéristiques hydro-biologiques et des performances de croissance, puis valider un modèle global. La principale objection à un sujet de thèse est qu'il n'y a pas d'apport conceptuel nouveau, puisqu'il s'agit plutôt d'un programme de synthèse régionale. Cette difficulté pourrait être levée en justifiant d'une méthodologie spécifique, d'essence pluridisciplinaire, pour répondre aux besoins d'une modélisation régionale.

Le profil du candidat à une telle thèse doit par ailleurs être très complet : il convient en effet d'intégrer les compétences requises par chaque facette du projet, pour qu'elles forment une unité, et pas seulement une juxtaposition d'études.

## **4.2. moyens techniques**

Les stades avancés du programme nécessitent un ensemble de moyen pour collecter la donnée, pour la gérer, et pour la traiter.

### 4.2.1. systèmes de mesures : utilisation de stations intégrées

L'acquisition de données pour valider les différentes échelles du modèle statistique (apports des bassins versants, production primaire et croissance des huîtres) nécessite un matériel techniquement avancé pour que les stratégies d'échantillonnage restent compatibles avec les contraintes de fonctionnement d'un laboratoire régional. Les progrès réalisés dans la miniaturisation des sondes (de température, salinité, turbidité, et plus récemment les fluorimètres pour la chlorophylle) et des appareils de mesure, ainsi que l'expérience acquise avec la station d'alarme conchylicole (Le Bec et al., 1993) et les développements prévus dans le cadre du programme MAREL laissent espérer à moyen terme la disponibilité de stations d'acquisition souples d'emploi, et de coût abordable, permettant un échantillonnage des paramètres de la colonne d'eau adapté aux besoins de la modélisation des croissances suivies par REMORA.

### 4.2.2. ressources informatiques

Les besoins informatiques sont importants pour la gestion et le traitement des données, mais aussi pour la mise en place de modèles opérationnels (simulation).

Pour la gestion des données, il serait souhaitable que l'application gérant les données REMORA soit couplée à des bases parallèles. Ce besoin correspond non seulement à l'objectif de modélisation des croissances, mais permet à chaque laboratoire ayant la responsabilité de site REMORA de disposer d'une ouverture vers des paramètres pouvant aider à sa compréhension des résultats de croissance. Par ailleurs, les SIG permettent aussi la gestion des bases de données, avec en plus toute la puissance offerte en matière de représentation cartographique et d'analyse des interactions entre différents facteurs (superposition et combinaison de différentes couches d'information).



Enfin, l'intérêt du modèle global couplé au réseau REMORA est de pouvoir évoluer avec l'expérience accumulée d'année en année : à terme le système devra permettre de simuler la croissance en fonction des connaissances acquises les années précédentes, pour détecter d'éventuels changements dans le déterminisme de la croissance (dégradation du milieu, problème d'eutrophisation) et devra être capable d'intégrer les résultats annuels pour modifier ses propres équations.

## CONCLUSION

Les travaux et réflexions menés au cours de cette étude ont permis d'analyser les intérêts et limites d'utilisation des bases de données environnementales dans l'explication de résultats conchylicoles. Ils ont montré les limites d'une approche simple et d'un modèle trop global.

Il conviendra, en cas de précision insuffisante du modèle global cherchant à mettre en rapport des données trop éloignées (du point de vue déterministe), d'*introduire des étapes intermédiaires, en modélisant les apports terrigènes et la production primaire*, décomposant en même temps les sources d'erreur. D'autant plus que des données sur les flux de nutriments des bassins versants vers la mer, et des mesures sur le phytoplancton sont souvent disponibles.

Cette analyse permet de définir les priorités d'étude pour la suite du programme et la modélisation des performances conchylicoles :

1. la première limite identifiée réside dans le découpage des zones à étudier, basé jusqu'ici sur la localisation géographique des sites de production conchylicole. En fait, une *modélisation des conditions hydrodynamiques* et une *étude satellitaire de la capacité trophique et de la répartition des apports terrigènes* devrait permettre de délimiter les zones d'étude.
2. il manque dans les données disponibles des informations essentielles au bon fonctionnement de ce type de modèle, et tout particulièrement la *connaissance des stocks en élevages*. La capacité trophique mériterait aussi d'être étudiée plus précisément.
3. les deux premiers points traités, il sera possible de *mettre en place un outil de modélisation* des performances conchylicoles.

## Références bibliographiques.

- Bacher C. (1984). Echantillonnage du stock d'huîtres du bassin de Marennes Oléron. Rapport de DEA. Rapport Interne IFREMER/La Tremblade. 38 p.
- Bacher C. (1989). Etude de la capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : utilisation d'un modèle couplé de transport particulaire et de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale.
- Bacher C., A. Menesguen, O. Raillard, M. Héral, J.M. Deslous-Paoli et D. Razet (1990). Modélisation de l'écosystème du bassin de Marennes-Oléron. RIDRV-90.33-RA La Tremblade.
- Brown J. (1988). Multivariate analyses of the role of environmental factors in seasonal and site-related growth variation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **45** : 225-236.
- Cabinet Bourgeois (1993). Protection du barrage de Treauray en Pluneret. Syndicat intercommunal à vocation multiple de la région d'Auray Belz Quiberon, 148 p.
- de Pontual H. (1989). Aide à l'estimation des stocks d'huîtres en élevage par télédétection basse altitude : étude de faisabilité. IFREMER RIDRV-89.038-RA/La Tremblade, 124 p
- Garreau P. (1993). Condition hydrodynamique sur la côte Nord-Bretagne. IFREMER R.Int. DEL/93-02, 19p
- Gouletquer P. et C. Bacher (1988). Empirical modelling of the growth of *Ruditapes philippinarum* by means of non linear regression on factorial coordinates. Aquat. Living Resour., **1** : 141-154
- Håkanson L., H. Kvarn-s et B. Karlsson (1986). Coastal morphometry as regulator of water exchange - a swedish example. Est. Coast. Shelf Sci., **23** : 873-887.
- Héral M., J.M. Deslous-Paoli, D. Razet et J. Prou (1984). Essai de mise en évidence *in situ* de paramètres biotiques et abiotiques de l'eau et de l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'Huître *Crassostrea gigas*. Oceanis, **10** : 465-475.
- Le Bec C. (1990). L'Huître creuse *Crassostrea gigas* en Bretagne : Etude pilote en 1989 pour l'élaboration d'un réseau de données en biochimie, croissance, mortalité et pathologie de l'Huître creuse sur huit sites conchylicoles bretons. IFREMER RIDRV-90.54-RA/La Trinité.
- Le Bec C., A. Littaye-Mariette et V. Chapon (1993). Station de mesures physico-chimiques en zone ostréicole, sur l'Aber Benoît 1991-1992. IFREMER-RA, La Trinité-sur-Mer.
- Le Bec C. et J. Mazurié (1992). L'huître creuse *Crassostrea gigas* en Bretagne : résultats du réseau de suivi de 1991. RIDRV 92.23 RA/La Trinité/Mer.



- Le Gall S. et C. Béchemin (1994). Incidence écophysiological de l'absorption épithéliale d'acides aminés dissous par *Crassostrea gigas*. C.R. Acad. Sci. Paris, Sci. Vie/Life Sci., **317**, 457-460.
- Lemoine G. (1990). Influences du sédiment sur les rendements conchylicoles. IFREMER RIDRV-90.59-RA La Trinité.
- Littaye-Mariette A. et J. Mazurié (1993). Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, en Bretagne. Synthèses des quatre années 1989 à 1992. RIDRV 93-039 RA/La Trinité/Mer.
- Ménesguen A. (1989). Modélisation de la production primaire dans le bassin de Marennes-Oléron (France). ICES EMEM/n° 60.
- Raillard O. (1991). Etude des interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) du bassin de Marennes-Oléron : essais de modélisation. Thèse Doctorat Université Paris VI.
- Saunier Eau et Environnement (1993). Etude statistique des apports en nutriments à la mer par les rivières du littoral Loire-Bretagne. Quantification statistique des flux de nutriments. Agence de l'Eau Loire-Bretagne. 19p.