Ifremer

Direction des Ressources Vivantes

Département des Ressources Aquacoles

Journées du Département

Thème : Ecosystèmes

La Tremblade, 17-18 juin 2002

Organisateur : C. Bacher

Cancale (*source :* Syndicat conchylicole de la Baie du Mont-St-Michel)

Novembre 2002

JOURNEES DU DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES

La Tremblade, 17 – 18 JUIN 2002

Thème : Ecosystèmes

Introduction 2
Revue thématique : Interactions environnement/aquaculture dans les projets du Département 2
Atelier : Stratégies, apports et limites de la modélisation 3
Atelier : quelles stratégies pour l'instrumentation ? 3
Atelier : quelles stratégies pour l'analyse et l'archivage des données 3

Revue des projets 4
MORtalités ESTivales de l'huître creuse Crassostrea gigas 4
Le programme DEMOS "DEfi MOrtalité Stylirostris en Nouvelle-Calédonie" 5
Capacité trophique et impact de l'aquaculture dans des baies chinoises 6
GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets 7
REPER - Recherche sur les Ecosystèmes des PERtuis charentais 8
Projet GAMBAS (Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture of Shrimps)- 9
Etude des systèmes recyclés : modélisation et traitement des rejets. 10

Atelier Modélisation 11
Modèles mathématiques en écologie côtière : l'expérience de la DEL 11
Modélisation des interactions écosystème/aquaculture 12

Atelier Instrumentation 15
Les outils et projets à l'IFREMER : Amphybi, Marel 15
Instrumentation et Aquaculture 16

Atelier analyse et base de données 18
Les bases de données 18
L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques 18
Applications SIG dans le département RA 19
Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien : le bassin de Marennes-Oléron. 20

Synthèse 21
Bilan modélisation 21
Bilan instrumentation 222
Bilan base/analyse de données 23
Conclusion 23

Introduction

L'objectif général de ces journées du Département RA est de présenter les avancées récentes dans le domaine des études des écosystèmes marins en fonction des questions posées en aquaculture – que celle-ci soit menée en marais ou en milieu ouvert. Les enjeux sont à la fois scientifiques et stratégiques : comment l'écosystème est pris en compte dans un certain nombre de projets, mais aussi quelles sont les priorités en terme de recherche et de développement. Ces journées ont également une triple fonction :

- disséminer les connaissances au sein du département
- permettre les discussions constructives au niveau des différents acteurs impliqués
- favoriser les synergies intra RA et entre RA et d'autres Directions Opérationnelles

C'est pourquoi ces journées sont organisées autour de présentations thématiques, faisant ressortir les démarches pluridisciplinaires des projets récents et novateurs mettant en jeu les interactions aquaculture/environnement, et d'ateliers plus stratégiques portant sur des aspects techniques et méthodologiques (modélisation, instrumentation, analyse et bases de données), dont les objectifs sont brièvement présentés ci-après, et qui mettent à contribution des chercheurs du département RA et d'autres directions opérationnelles.

Revue thématique : Interactions environnement/aquaculture dans les projets du Département

L'objectif est de faire le point sur les projets en cours, les enjeux en terme de recherche, les points forts du département et de l'IFREMER, les besoins en collaboration et moyens à mettre en œuvre et les enjeux en termes prospectifs. Certains projets n'ont pas été présentés, faute de temps, et la revue n'est donc pas exhaustive. Les projets ont été regroupés par thématique :

- **Crises et mortalités anormales**
  - MOREST : MORtalités ESTivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* - J.F. Samain
  - DEMOS : DÉfi MOrtalités *Stylirostris* en Nouvelle-Calédonie - H. Lemonnier

- **Capacité trophique et interactions conchyliculture/environnement**
  - Capacité trophique en Chine - C. Bacher

- **Aquaculture et systèmes intégrés**
  - GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated
  - marine aquaculture for European environments and markets - J. Hussenot
  - REPER (Recherche sur les Ecosystèmes des PERtuis charentais) : évolutions de l'écosystème Pertuis Charentais sous l'effet des pratiques d'utilisation du milieu des changements naturels dans une optique de gestion durable de la bande côtière - P. Gentien

- **Impact**
  - GAMBAS : Global Assessment of Mékong Braquishwater Aquaculture of Shrimps – J.L. Martin
  - circuit fermé : lagunage et recyclage boues – J.P. Blancheton

- **L'avenir passe-t-il par le 6ème PCRD ?** - M. Héral

Atelier : Stratégies, apports et limites de la modélisation

L'objectif est de montrer comment la modélisation contribue à l'amélioration des connaissances dans un nombre croissant de projets scientifiques, et quels sont les développementse et outils disponibles à l'IFREMER A partir de l'expérience de la DEL et de RA dans ce domaine, deux exposés de synthèse sont proposés:

- Le point sur les modèles en environnement côtier - A. Ménesguen
- Les modèles développés au département RA: objectifs, échelles et projets - C. Bacher

Atelier : quelles stratégies pour l'instrumentation ?

L'acquisition de données en continu devient indispensable pour appréhender la variabilité environnementale et plusieurs projets (MOREST, DEMOS, GENESIS) font apparaître des besoins en instrumentation. Pour aider à réfléchir sur les défis à relever et les enjeux à moyen terme, deux présentations font le point sur certains développements au niveau de TMSI et du département RA :

- Les outils et projets à l'IFREMER : Amphybi, Marel - J. Legrand
- Développement spécifique: instrumentation marais - H. Chartois

Atelier : quelles stratégies pour l'analyse et l'archivage des données

L'organisation des données acquises sur le terrain est devenue indispensable et la constitution de bases de données locales et nationales facilite la mise en place de méthodes d'analyse statistique. Les exposés proposés reposent sur l'expérience de TMSI, DEL/AO et RA, et décrivent les outils d'organisation des données géographiques propres à la description, l'archivage et la dissémination, ainsi que certains outils statistiques permettant leur analyse :

- Les bases de données - AG Martin
- Les serveurs de données géographiques - M. Bellouis
- Application SIG - O. Le Moine
- L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques - P. Grosjean
- Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien, le Bassin de Marennes Oléron - P. Soletchnik

Ce document est composé de deux parties. La première regroupe les résumés des différents exposés et se conclut par une synthèse des discussions et conclusions des différents ateliers. La deuxième est constituée par les présentations réunies pour mémoire sous la forme de copies des diaporamas présentés durant les journées.

Revue des projets

MORtalités ESTivales de l'huître creuse Crassostrea gigas

JF Samain - http://w3.ifremer.fr/morest

Les mortalités massives anormales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* au cours de la période estivale ne sont pas un phénomène nouveau, puisque de tels épisodes sont décrits dans la littérature depuis une quarantaine d'année. De nombreuses études tendent à montrer qu'il n'existe pas de façon systématique une seule cause identifiée mais que ce phénomène résulterait de la conjonction de plusieurs paramètres. C'est pourquoi nous proposons une approche multidisciplinaire à la problématique des mortalités estivales de *C. gigas* dans laquelle l'hypothèse de travail est que cette mortalité résulte des interactions entre trois compartiments : l'environnement, l'hôte et les pathogènes.

Ce programme fédère donc l'ensemble des compétences nécessaires à l'études de ces interactions : compétences en génétique, physiologie, immunologie, pathologie, environnement ainsi que celles des structures régionales et professionnelles. Le dispositif du présent programme est articulé suivant des projets par discipline, et réalisés à la fois dans le milieu naturel et en expérimentations contrôlées. Dans chaque discipline, six tâches ont été affichées permettant un découpage pertinent des actions à entreprendre. En premier lieu, l'intercalibration, la validation et le développement d'outils (tâche 1) qui sont nécessaires à la caractérisation du phénomène *in situ* sur des familles génétiques et sur différentes origines de captage naturel (tâche 2). Ils permettront aussi de suivre l'approche expérimentale de l'effet des paramètres environnementaux sur les mortalités estivales de *C. gigas* (tâche 3). Tout ceci s'inscrit dans le but de déterminer des « voies » possibles pour sortir de la « crise » puis de les valider *in situ* (tâche 4).

Le réseau REPAMO est depuis quelques années acteur central du suivi des mortalités anormales de *C. gigas* au sein de l'Ifremer. Des actions communes entre ce réseau et le présent programme sont donc proposées afin de fédérer au mieux l'ensemble des activités de recherche sur cette problématique (tâche 5). La circulation et mise en commun de l'information découlant de ce travail sera facilitée par la réalisation d'un outil d'information-communication-gestion de données sur intranet et permettra d'utiliser les outils de modélisation et si possible de modéliser les phénomènes (tâche 6).

Les résultats attendus dans ce projet sont les suivants :
1/ Une meilleure compréhension, sur l'exemple du problème des mortalités estivales, des interactions entre l'environnement et l'huître pouvant conduire à un affaiblissement létal ou permettant son infestation par un pathogène opportuniste. Ceci devrait permettre aussi de distinguer les différents types de mortalités, s'il en existe, et de formuler des pistes sur leur origine.
2/ La mise au point et la validation d'un ensemble d'outils de mesure, pertinents pour cette question, permettant de caractériser l'environnement, les caractéristiques génétiques, physiologiques, immunologiques des huîtres, leur contamination par des polluants et leur infection par des pathogènes.
3/ L'ensemble des mesures effectuées devrait renforcer l'hypothèse des interactions et l'approche épidémiologique du réseau REPAMO. Il devrait en résulter une optimisation des réseaux de surveillance déjà en place (REPHY, RNO). Dans la mesure du possible une modélisation des phénomènes devrait conduire à prédire les interactions les plus dangereuses.

4/ Des moyens de prévenir ces mortalités devraient être définis par :
- des stratégies zootechniques de prévention, d'endurcissement ou de sélection génétique, si le phénomène de mortalité relève de variations climatiques non contrôlables et par l'utilisation des outils d'analyse de risques qui seront développés.
- la surveillance de la qualité du milieu si une part de la causalité relève de paramètres liés à des activités humaines (origine anthropique).

Le programme DEMOS "DEfi MOrtalité Stylirostris en Nouvelle-Calédonie"

H. Lemonnier

En Nouvelle-Calédonie, l'aquaculture de crevettes a débuté en 1970 et le développement de la filière crevette a été rapide et spectaculaire jusqu'à l'année 1993, année au cours de laquelle une pathologie saisonnière à caractère épizootique a fait son apparition. Cette maladie, qui a reçu le nom de "Syndrome 93" a pu être attribuée à un Vibrio. Les contraintes induites, principalement l'abandon des élevages de saison fraîche, ont entraîné une baisse de la production, malgré l'augmentation des surfaces exploitées. Ce n'est qu'en 1995 que la production annuelle a rattrapé et dépassé le niveau atteint en 1992, et à partir de 1998 que les rendements ont dépassé ceux atteints en 1992. Au cours de cette année 1997, une nouvelle pathologie dénommée "Syndrome d'été", attribuée à un autre Vibrio a fait son apparition sur une ferme de production dont elle menace sérieusement la survie économique. Cette nouvelle maladie, si elle devait se généraliser à l'ensemble des sites de production, risquerait fort de menacer gravement la filière aquacole de Nouvelle-Calédonie.

Dans le cadre du syndrome 93, les températures sont corrélées à l'apparition des mortalités saisonnières. Dans le cadre du syndrome d'été, une forte variation de la qualité du milieu (enrichissement organique du milieu et fluctuation brutale des blooms planctoniques) a été observée lors de l'apparition des mortalités. Pour les 2 pathologies, les pathogènes sont présents dans presque toutes les fermes, avec expression ou non d'une pathologie. Dans certains cas de mortalité, les 2 Vibrio sont présents simultanément mais un seul cause la mortalité. Les conditions environnementales dans les bassins d'élevage favoriseraient le développement et/ou à la pathogénicité d'une bactérie pathogène. Ces mêmes conditions peuvent également rendre les crevettes plus sensibles à un de ces pathogènes.

Il n'est pas possible d'expliquer l'apparition des mortalités estivales et hivernales par l'action d'un seul facteur. Les mortalités résultent de conditions environnementales particulières découlant : des pratiques culturales, de la saison et des conditions météorologiques, de la présence et de la virulence de pathogènes, ainsi que de l'état physiologique de la crevette. L'hypothèse de travail est que les mortalités résultent des interactions entre les trois compartiments : l'environnement, l'hôte et les pathogènes.

Les multiples paramètres en jeu et la complexité des processus étudiés rendent nécessaire la juxtaposition de compétences complémentaires afin de progresser dans la connaissance des phénomènes observés, et cerner les interactions Milieu- Hôte-Pathogène. Un programme de recherche multidiscipline, multi-labo a été élaboré afin de répondre à la problématique "mortalité des crevettes en élevage". L'ensemble des actions proposées dans le projet DEMOs sont réparties en 6 *work packages* autour desquels se regrouperont les efforts de l'ensemble du dispositif. Chaque projet de recherche spécifique contribuera à une ou plusieurs tâches :

- WP 1 : Mise au point et optimisation d'outils et méthodes

Les études envisagées tant *in situ* qu'en laboratoire impliquent l'utilisation d'un nombre important d'outils et méthodes. Ils sont destinés à permettre de qualifier ou quantifier différents paramètres ou phénomènes au niveau des pathogènes, de l'état de santé de la

crevette mais aussi de l'environnement et des interrelations entre chaque compartiment. Ils comprennent aussi bien des techniques de mesures que des dispositifs expérimentaux ou d'élevage.

- WP 2 : Caractérisation des phénomènes *in situ*

L'objectif est de mesurer, le long d'un cycle d'élevage, les variables les plus pertinentes dans chacun des compartiments identifiés pour pouvoir décrire le plus précisément possible leur évolution, c'est à dire leurs tendances, mais aussi leurs ruptures. Leur croisement devra permettre de déterminer l'enchaînement des phénomènes d'un compartiment à l'autre, avec comme but ultime, de décrire les phases critiques.

- WP 3 : Etude expérimentale des hypothèses explicatives

A partir des observations réalisées lors des études *in situ* et des résultats obtenus antérieurement ou parallèlement, les hypothèses émises (WP2) pour expliquer l'apparition des mortalités, incluant aussi certaines pratiques culturales, feront l'objet de séries d'expérimentations. Elles auront pour but de reproduire les mortalités et d'étudier les interactions et les effets cumulatifs de certains paramètres environnementaux sur les pathogènes et la crevette et aboutissant aux mortalités. L'effet génétique sera également considéré avec différentes populations issues de l'importation de sang neuf.

- WP 4 : Sortir de la crise, les solutions potentielles

Ces solutions seront principalement des solutions préventives zootechniques permettant d'éviter les conditions favorisant le déclenchement des épisodes de mortalités. A ces solutions il convient d'ajouter les résultats que l'on peut espérer obtenir grâce à la meilleure exploitation des ressources génétiques, à l'amélioration génétique et à une alimentation adaptée aux besoins des animaux dans les périodes critiques.

- WP 5 : Outils de communication et de diffusion des résultats
- WP 6 : Gestion et organisation du projet.

Capacité trophique et impact de l'aquaculture dans des baies chinoises

C. Bacher

L'objectif général de ce projet européen (1998-2001) est de modéliser et d'évaluer la capacité trophique dans un cadre de développement durable de l'aquaculture, pour des baies chinoises semi fermées. Par capacité trophique, on entend ici la biomasse maximale d'espèces en élevage dans une zone donnée sans qu'il y ait baisse de la production biologique ni d'effet irrémédiable sur l'environnement, en prenant en compte les contraintes liées aux techniques d'élevage et les caractéristiques environnementales. Les objectifs spécifiques sont les suivants:

- améliorer les connaissances scientifiques sur les interactions aquaculture/environnement dans les zones côtières, y compris les interactions entre différents types d'aquaculture – e.g. polyculture.
- développer et mettre en place des modèles prédisant la capacité trophique pour une aquaculture donnée et les impacts résultant sur les différents écosystèmes étudiés.
- fournir des recommandations sur la base de l'expertise scientifique afin de faciliter la gestion durable de l'aquaculture.

Dans les études de capacité trophique, la première étape est de quantifier les relations entre filtreurs et environnement en considérant les processus écophysiologiques comme la filtration, l'ingestion, l'assimilation et les pertes métaboliques. Ensuite, il est nécessaire de définir l'échelle géographique correspondant aux interactions biologiques – e.g. limitation de nourriture. La capacité trophique peut être définie à l'échelle de l'écosystème quand une part importante d'une baie est occupée par l'aquaculture. Les courants de marée et la localisation des zones d'élevage peuvent également induire une limitation locale de la nourriture disponible par les filtreurs.

Les différentes échelles spatiales et temporelles d'interaction espèces cultivées/environnement ont donc été prises en compte. Des modèles des processus écophysiologiques, hydrodynamiques et biologiques ont été développés afin de prendre en compte les différents facteurs impliqués, et ils sont brièvement présentés. La mise au point de ces modèles représente également un effort important d'acquisition de données, tant au niveau expérimental – e.g. études d'écophysiologie en milieu contrôlé – que sur le terrain – e.g. campagnes menées pendant une année sur 2 baies. Enfin, la constitution d'une base de données environnementales (BARCAWIN), la mise en place de systèmes d'Information Géographique, de modèles génériques (STELLA pour l'écophysiologie, ECOWIN pour la dynamique des écosystèmes, Aquadyn pour l'hydrodynamisme) et le développement d'interfaces utilisateur (SIG/modèle/base de données) ont fait également l'objet de travaux. La formation aux concepts de modélisation, aux concepts et aux techniques de mesure utilisés en écophysiologie ont été une composante nécessaire à la coordination des actions de recherche expérimentale et in situ d'une part, et d'autre part à la dissémination des connaissances.

GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets

J. Hussenot

Après une présentation des différents systèmes d'élevage marin piscicole en zone humide littorale, et des données précédemment acquises au Crema sur (i) les caractéristiques des effluents au niveau de la matière particulaire et de la matière dissoute (ratio Azote, Phosphore, Silice et élément limitant pour le développement des microalgues (tableau 1), (ii) et sur les travaux d'étude et de modélisation des systèmes intégrés (Lefebvre et al.), 2001a,2001b), il est fait une présentation du programme européen „**GENESIS**" associant des PME, qui a démarré en juillet 2001 pour 3 ans (Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets, IPS-2000-00102,/http://www.ifremer.fr/crema/prog_europeens/Genesis/genesis; http://genesis.ocean.org.il).

Tableau 1 Average annual water quality in effluents of fish farms located on French Atlantic coastal wetlands, according to intensification level, sampled after a settling treatment for Farms 4 and 5 (Hussenot, soumis à Aquaculture).

Parameter	Unit	Farm 1 Extensive	Farm 2 S.I. (sea bass)	Farm 3 S.I. (sea bream)	Farm 4 Int. (sea bass)	Farm 5 Int. (turbot)	Farm 6 Hatchery
Daily renewal	% per day	1,6	33	30-50	600	900	3000 $m^3.d^{-1}$
Water* (kg fish)	m3	nd	44	n.d.	55	65	n.d.
TSS	ppm	32	22.9	108	12	22	7.8
Chl a	ppb	17	28	9.5	9	2	n.d.
$N\text{-}NH_4+NO_2+NO_3$	µM	4	19	62.3	150	84	244
$P\text{-}PO_4$	µM	4.9	17.5	1.05	11	4.5	10.5
$Si\text{-}SiO_2$	µM	25	12.7	27.6	25	36	12.3
Si:N	mol/mol	6.4	0.6	0.4	0.2	0.4	0.05
N:Si:P	mol/mol	0.8:5.1:1	1.1:0.7:1	59.5:26.3:1	13.6:2.3:1	18.7:8:1	23.3:1.2:1
Limiting element		N	N	P	Si	Ok	Si

Le principe de système intégré proposé dans GENESIS est d'utiliser les rejets d'une culture noyau intensifiée (crevette ou poisson), pour développer en aval des cultures associées végétales, qui traiteront les effluents (microalgues ou macroalgues selon les situations), et de

valoriser les algues produites dans un troisième compartiment par des cultures d'herbivores (oursins, bivalves, artemia, polychètes). L'utilisation en fin de circuit de marais artificiels pour épurer les éléments restants est incluse dans l'étude proposée. Pour la France le prototype est adapté aux conditions des marais salés endigués du littoral atlantique (zone tempérée, figure 1), pour l'Israël, les deux prototypes représentent des conditions de zone chaude, pour la GB des conditions de zone froide. Cela permettra d'envisager leur application dans les différentes zones littorales européennes.
Les partenaires sont au nombre de 8 (France 3, G.B. 3, Israël 2), avec 5 P.M.E. et 3 instituts de recherche (IFREMER, U. de Stirling, et IOLR coordinateur). Quatre prototypes seront construits dans le cadre du projet européen (2 en Israël, 1 en G.B., 1 en France). En France il sera développé au Creaa situé sur l'île d'Oléron (Centre Régional d'Expérimentation et d'Applications Aquacoles de la région Poitou-Charentes). Il sera géré en commun par le CREAA et l'IFREMER (Crema-L'Houmeau), la construction s'achèvera en juin 2002. Les aspects de durabilité d'un tel système seront examinés du point de vue économique, environmental et sanitaire.

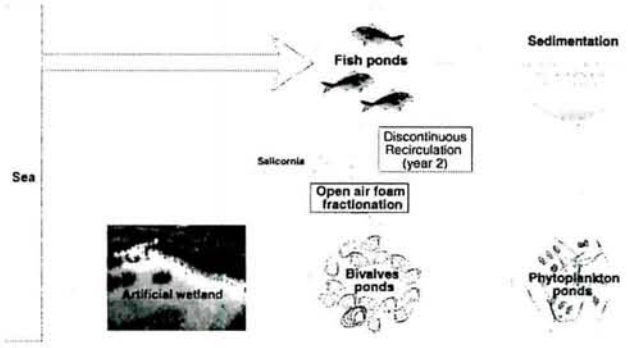


Figure1 : Schéma du système développé en France par le CREAA, l'IFREMER et le bureau d'étude IDEE (dessin CREMA/Y.D.).

Lefebvre, S., Bacher, C., Meuret, A., Hussenot, J., 2001. Modelling approach of the nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment water interface of an intensive marine fish-pond system. Aquaculture 195, 279-297.
Lefebvre, S., Bacher, C., Meuret, A., Hussenot, J., 2001. Modelling nitrogen cycling in a mariculture ecosystem as a tool to evaluate its outflow. Estuar. coast. Shelf Sci. 52, 305-325.

REPER - Recherche sur les Ecosystèmes des PERtuis charentais

P. Gentien

L'observation d'un écosystème requiert une durée (plusieurs réalisations du cycle le plus long), des études de processus et la description dans le temps des critères pertinents. Le fonctionnement d'un écosystème comme celui des Pertuis charentais résulte d'équilibres entre différentes variables d'état qui procèdent de différentes échelles de temps et d'espace par le biais de processus difficilement expérimentables dans un système qui n'est pas manipulable. Dans cet écosystème fortement adapté par l'homme, le triptyque environnement- ressource - exploitation est indissociable. L'approche du fonctionnement de cet écosystème ne peut être séparée des modes d'exploitation de la bande côtière qui influencent directement les équilibres du système. L'objet de cet observatoire est donc d'étudier par une approche multidisciplinaire intégrée, les évolutions de l'écosystème Pertuis Charentais sous l'effet des pratiques d'utilisation du milieu et à plus long terme, des changements naturels dans une optique de gestion durable de la bande côtière.
L'éventail des différentes échelles d'espace et de temps impose de s'inscrire dans la durée, de développer des modélisations et de focaliser l'attention sur des compartiments jugés a priori représentatifs du fonctionnement du système aux différentes échelles de temps significatives de manière à développer des critères de l'état de santé du système. Outre le thème traitant de la QUALITE DE L'EAU qui s'inscrit dans une problématique d'impact et de risque, les autres

actions concernent des compartiments à forte diversité d'échelle de temps. L' ECHELON PRIMAIRE conditionne les réseaux trophiques et présente une réponse rapide de quelques heures à quelques semaines mais intègre aussi la dérive climatique et l'évolution des usages.

Le volet INVERTEBRES concerne des animaux qui présentent des temps caractéristiques de quelques jours (reproduction) à plusieurs années (3 ans pour la production d'huîtres commercialisables). Le thème VERTEBRES concerne des animaux plus ou moins capables d'éviter le zone. Si cela est vrai pour l'avifaune, les juvéniles de sole restent inféodés à leur milieu avec des conséquences mesurables sur les cohortes 0 et 1. Le dernier thème concerne les déterminants SOCIO -ECONOMIQUES de l'activité dans la bande côtière. Ces différents thèmes seront menés dans le contexte d'une action structurante INSTRUMENTATION, MODELISATION, BASE DE DONNEES.

Régionalement, il s'agit du premier programme qui intégrera des organismes et institutions divers vers un objectif souvent projeté mais rarement atteint, d'étude intégrée de la bande côtière. Des liens évidents existent avec les travaux de l'Université de Poitiers dans le cadre du CPER-Poitou-Charentes sur le réseau hydrographique et les nappes aquifères. Le BRGM et le CEMAGREF seront aussi des partenaires privilégiés. Le programme en tant que tel s'inscrit dans le Grand Défi Golfe de Gascogne pour les actions thématiques "Capacité Trophique" et "Sole". Sous réserve d'intercalibrations et de comparaison de procédures, les séries temporelles acquises pourraient abonder l'ORE-FORMICCA. Ce site instrumenté pourrait être intégré à l'initiative internationale C-GOOS. Le projet pourrait aussi être intégré dans un réseau d'excellence européen relatif à la gestion de la bande côtière ou, plus spécifiquement, à la gestion d'une zone conchylicole. Il est aussi à noter que le CREMA est directement impliqué dans le réseau européen MARS de la biodiversité.

Projet GAMBAS (Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture of Shrimps)-

J.-L. Martin - http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/gambas/

Le développement de l'aquaculture de crevettes en milieu intertropical a connu un très important essor dans les années 80. Cependant, dans de nombreux pays, à la phase de développement a souvent succédé une phase de récession drastique des productions. L'expérience acquise montre qu'un développement durable de l'aquaculture ne peut pas être réalisé sans que cette activité ne soit parfaitement insérée dans son environnement. En effet, le milieu (structure écologique) joue un rôle important dans la mesure où, pour l'aquaculture de type intensif, il définit la " qualité aquacole " de l'eau pénétrant dans les bassins d'élevage, de même que ce milieu qui assurera l'assimilation et/ou l'élimination des déchets issus des bassins. Pour l'aquaculture de type extensif, le milieu environnant supportera l'activité de production de crevettes par sa capacité de production de proies consommées.

Le développement de l'aquaculture apparaît (avec la pêche) comme une des rares activités potentiellement développable dans la frange côtière du delta de Mékong. Ce milieu possède des caractéristiques très spéciales qui se traduisent par une instabilité géomorphologique (phénomènes de sédimentation), et, par de grandes fluctuations de nature hydrologique (saison sèche et saison humide). De plus, le Mékong, qui parcourt plus de 4000 km en milieu de forêt et qui draine un bassin de population de plusieurs dizaines de millions d'habitants, constitue une source importante de matière organique pour le milieu côtier, pouvant conduire à d'importants phénomènes de dystrophie. Le succès du développement de l'aquaculture passe aussi par la maîtrise de paramètres socio-économiques et zootechniques (nature de la

gestion de l'eau, individuelle ou collective ; rythmes de renouvellement des eaux des bassins; origine des post larves; structure des bassins...).

Le but du programme GAMBAS est de déterminer le poids de chacun des 3 grands types de paramètre (zootechniques, socio-économiques, environnementaux), dans les performances observées de production de fermes aquacoles dans le delta du Mékong. L'action du CREMA s'inscrit dans la partie environnement (écologie aquatique) de ce programme. Elle est réalisée en coopération avec l'Institut Océanographique de Nhatrang (Vietnam) et l'IRD. Ce volet de programme à pour objet de décrire les caractéristiques écologiques des sites dans lesquels sont implantées les fermes aquacoles, dans le but de définir les critères écologiques permettant le sélection la plus rigoureuse possible des sites propices au développement de l'aquaculture de crevette en mode extensif. L'accent est mis sur les paramètres témoignant de l'état trophique du milieu indicateur des capacités de production (structures phytoplanctoniques, bactéries hétérotrophes, bactéries sulfato-réductrices, Matière Organique Particulaire, BOD, BOC....).

Etude des systèmes recyclés : modélisation et traitement des rejets.

J P Blancheton

L'équipe ASC de la station Ifremer de Palavas contribue depuis plusieurs années à l'étude et au développement de systèmes recyclés pour l'élevage de poissons marins.
Dans ce cadre, quatre axes d'étude sont actuellement développés :

- Traitement, par lagunage à haut rendement algal, de l'eau de rejet de systèmes recyclés et réutilisation de l'eau traitée dans la boucle de recyclage, ce qui permet de rendre le système très peu dépendant d'une source d'approvisionnement en eau de bonne qualité. Les expérimentations sur un cycle annuel ont montré que l'eau traitée peut être réutilisée sans effet négatif (ni positif) (1) sur la croissance des poissons et (2) sur le fonctionnement du système de recyclage. Une modélisation du fonctionnement du lagunage à haut rendement a été entreprise et doit être terminée à échéance d'une thèse en cours sur le sujet.
- Compréhension et modélisation des flux de particules dans un système d'élevage recyclé. Un des problèmes qui limitent l'amélioration des performances des systèmes recyclés est la difficulté d'éliminer les particules rejetées par les poissons. Le travail en cours dans le cadre d'une thèse a pour objectifs, en utilisant les isotopes naturels du carbone et de l'azote, de définir l'origine et les flux de matières particulaires dans un système recyclé et de modéliser ces flux.
- Qualification et quantification des populations bactériennes autotrophes et hétérotrophes dans un système recyclé. Une thèse soutenue fin 2000 a permis de faire ce travail et de poser les bases d'un modèle du fonctionnement bactérien de ce type de système. Le travail est poursuivi et certains aspects sont précisés au cours d'un travail de stage, qui pourrait déboucher sur une nouvelle thèse. La parfaite compréhension des mécanismes bactériens est sûrement la clef principale pour améliorer le fonctionnement des systèmes de production recyclé.
- Modélisation du système de production global. Les principaux flux de matières dissoutes (N, P, O2...), la croissance et l'excrétion des poissons ont été modélisés. Ces sous modèles, calibrés et validés seront intégrés dans un modèle global de fonctionnement de systèmes recyclés développé dans le cadre d'une thèse à venir.

Atelier Modélisation

Modèles mathématiques en écologie côtière : l'expérience de la DEL

A. Ménesguen , IFREMER/Centre de Brest, Département d'Ecologie Côtière

Les problèmes abordés

Les principales questions abordées par modélisation en environnement côtier concernent :

- La productivité naturelle du milieu côtier : effets des apports croissants (eutrophisation, dérive de flore et faune), effets de la variabilité climatique, optimisation de l'exploitation (conchyliculture, pêche)
- Les stratégies démographiques des espèces côtières : pour les espèces introduites : quelle est leur niche écologique ? quelle est leur potentialité invasive ? pour les espèces exploitées : quelle modification des équilibres interspécifiques la pêche occasionne-t-elle?
- La propagation des polluants anthropogéniques : quelles évolutions subissent-ils dans le réseau trophique ? (bioaccumulation, métabolisation), quel est le temps de relaxation pour la contamination des écosystèmes ?

La DEL a fait le choix de partir des questions concrètes d'aménagement pour viser à émettre des recommandations quantitatives en utilisant des modèles mathématiques intégrant la dynamique de plusieurs compartiments. Privilégiant les aspects concernant l'homme (acteur ou cible) avant ceux ne concernant que l'écosystème, elle se focalise sur les échelles de temps allant de la journée à la décennie.

Les modèles de cycles bio géochimiques traitent de flux de masse entre compartiments du biotope (eau, sédiment) et du vivant en se focalisant sur des éléments choisis pour leur rôle crucial dans le fonctionnement des écosystèmes (N,P,Si,O_2), et nécessitent un couplage avec des modèles de transport hydro-sédimentaire.

Les modèles de dynamique de population traitent de flux d'individus entre classes d'âge, se couplant avec les modèles de flux pour la simulation de la croissance en biomasse.

Les modèles de bioaccumulation traitent de flux de traces véhiculés par les flux bio géochimiques ; ils nécessitent une modélisation de plus en plus détaillée en montant dans le réseau trophique.

Les outils numériques : EDO versus EDP

Il importe de disposer d'une palette d'outils numériques adaptés à des types de questions différents ; l'approche compartimentale apporte notamment aux écologistes un outil simple et rapide pour tester la formulation des processus purement chimiques et biologiques, et peut même être employée pour une première spatialisation de problèmes à basse fréquence temporelle et spatiale. Ce n'est que dans les problèmes nécessitant le maintien de gradients spatiaux forts qu'il faut impérativement avoir à recourir aux modèles basés sur l'équation de transport aux dérivées partielles.

Une application en bio géochimie marine : la Baie de Seine

La Baie de Seine, site d'un chantier du PNEC jusqu'en 2001, a fait l'objet d'une modélisation des flux bio géochimiques d'azote, phosphore et silicium, à laquelle a été couplée une modélisation de la bioaccumulation des PCB jusqu'à un maillon filtreur, la moule. Les résultats de l'approche multicompartimentale bicouche et ceux de l'approche continue 3D aboutissent à des conclusions opérationnelles identiques en termes de scénarios de lutte contre l'eutrophisation, et permettent d'expliquer les différences tant spatiales que saisonnières des niveaux de contamination en PCB mesurées par le RNO.

Une application en dynamique de populations marines : les bivalves en Manche

La modélisation de la dynamique de population spatialisée d'une espèce benthique à phase larvaire planctonique comme le bivalve *Tapes decussatus* devrait permettre une simulation déterministe de la colonisation d'une mer comme la Manche, et ouvre la voie à la simulation déterministe de la compétition entre espèces, voire entre types biologiques benthiques. C'est une clé indispensable pour évaluer les déplacements d'équilibre de la biodiversité sous l'action de la pêche sélective ou de l'irruption d'une espèce invasive comme la crépidule.

Conclusions

Les modèles écologiques numériques disposent actuellement de réelles capacités à :
- Expliquer les grands traits de la répartition spatiale et du cycle saisonnier moyen des grands types algaux
- Quantifier le rôle des fluctuations météorologiques et des modifications des apports sur la production primaire
- Simuler la bioaccumulation

Dans le futur, on peut attendre d'eux de :
- Simuler plus en détail les modifications floristiques
- Expliquer la constitution des biocénoses benthiques
- Assimiler des mesures abondantes (images satellitaires)

Pour ce faire, ils nécessiteront :
- Des logiciels multidisciplinaires, avec modules chimiques/biologiques modifiables, couplage à des codes de transport variés (1DH, 1DV, 2D, 3D) et interface utilisateur convivial de saisie et de visualisation.

Des études de processus expérimentales et *in situ* (expérimentation en milieu contrôlé, traceurs isotopiques en milieu naturel)
- Des données de terrain abondantes dans le temps (bouées instrumentées) et dans l'espace (images de surface satellitaires et aéroportées, coupes verticales par poisson remorqué ondulant).

Modélisation des interactions écosystème/aquaculture

C. Bacher

Les interactions écosystème/aquaculture interviennent dans certain nombre de questions :

- quelles sont les contraintes environnementales de la physiologie, la croissance et les comportements individuels, liées à la dynamique de l'écosystème ?
- comment la croissance individuelle, les caractéristiques environnementales et les stratégies d'élevage déterminent-elles la production ?
- comment les élevages modifient-ils l'écosystème au niveau des flux de matières, de la structure et du fonctionnement du réseau trophique ?

Un certain nombre de travaux récents permettent d'illustrer les apports de la modélisation à ces différentes problématiques.

- Croissance et Production

Le déterminisme de la croissance individuelle a été simulé chez l'huître (Barillé et al., 1997), la nacre (Pouvreau et al., 2001), la moule (Barillé, 1996 ; Grant et Bacher, 1998). Ces modèles reposent sur des concepts généraux de bilan énergétique et d'allocation d'énergie ou de matière (coquille, soma, gamètes). La capacité trophique (maximisation de la production à l'échelle d ' un écosystème, pour une espèce et une stratégie données) a été modélisée pour Marennes Oléron (Bacher et al. ,1998) et d'autres exemples sont bien documentés

(Carlingford Lough par Ferreira et al., 1998 ; Upper South Cove par Dowd, 1997). Ces modèles combinent croissance individuelle et dynamique de l'écosystème dans une approche faiblement spatialisée (système d'équations différentielles décrivant les échanges entre boîtes spatiales). A une échelle spatiale plus fine, il est possible de simuler l'effet de la densité locale d 'élevage sur la croissance et la production (projet Chine, Bacher et al., soumis ; Pertuis Breton, Bacher et al., soumis) à l'aide de modèles couplant transport par advection/dispersion et croissance individuelle. A une échelle différente encore, la variabilité de la croissance et de la production peuvent dépendre de la variabilité interindividuelle, des caractéristiques environnementales et stratégies d 'élevage, comme dans l'étang de Thau (Gangnery et al., 2001). Des travaux connexes entrepris dans le cadre du projet Chine par Duarte (Portugal) considèrent la variabilité spatiale de la production liée aux interactions entre production primaire, dynamique de population, transport par advection/dispersion à une échelle spatiale et temporelle fine représentée dans un modèle 2D.

- Impact

L'impact de l'aquaculture intensive sur l'environnement est un problème majeur, dont un exemple a été traité dans le cas d'une ferme d'élevage par Lefebvre et al. (2001), un autre exemple étant actuellement en cours de développement dans le cas d'un système fermé. S'il s'agit dans ces 2 cas de modèle simple (pas de spatialisation, estimation de flux sortant) traitant d'une forme d'effluent (nitrates, ammonium), des modèles plus complexes ont été mis en place concernant l'effet des huîtres sur l'environnement dans l'étang de Thau (Bacher et al., 1997 ; Chapelle et al., 2000), où la dynamique de l'écosystème est prise en compte dans une description 2D ou en boites spatiales. Enfin, l'action des forçages physiques et anthropiques et les interactions entre les différentes composantes des écosystèmes littoraux – y compris les échanges avec les systèmes côtiers - sur la structure, le fonctionnement et la productivité des écosystèmes sont à l'étude de façon plus globale dans le cas de Marennes-Oléron (cf. notamment sur le réseau trophique Leguerrier et al., soumis).

- Contrainte environnementale

Une partie des contraintes environnementales de l'aquaculture est liée aux relations trophiques qui déterminent croissance et productivité (cf. plus haut). D'autres facteurs sont susceptibles d'intervenir. Aux mortalités estivales d'huîtres abordées dans le programme MOREST, on peut probablement rattacher des stress environnementaux. Or Guarini et al. (1997, CREMA) ont montré que la température des vasières pouvait varier rapidement de plusieurs degrés sur les estrans vaseux du bassin de Marennes-Oléron. Dans l'étang de Thau, Chapelle et al. (2001, DEL/EC) ont simulé la propagation des crises anoxiques (responsables de certaines mortalités estivales) sous l'influence des conditions météorologiques et de l'extension des zones d'élevage. Dans un autre registre, Loizeau et al. (DEL/EC) ont simulé la bioaccumulation de PCB dans les moules de la baie de Seine en fonction des conditions trophiques et des apports de la Seine. Tous ces modèles reposent sur un maillage 2D, voire 3D, et une variation des processus biologiques et physiques de l'ordre de l'heure. Sur une thématique connexe mais abordée selon une autre stratégie, la contamination métallique des moules du réseau de surveillance RINBIO est en cours de simulation de manière à déterminer les concentrations de contaminant dans le milieu.

La synthèse de ces différentes thématiques fait ressortir certains éléments clés de la stratégie de modélisation :

- Le choix des échelles spatiale, temporelle et la hiérarchisation des processus sont inhérents à la démarche du modélisateur et sont illustrés dans les exemples cités plus haut.

- Un certain nombre de concepts, en écophysiologie, en couplage des processus physique/biologiques ont atteint un niveau opérationnel et des codes de calcul sont disponibles à l'IFREMER (MARS2D, SiAM2D, 3D). Cependant, la gamétogenèse est encore insuffisamment décrite et modélisée, alors qu'elle conditionne une partie importante du cycle de vie (mortalité, croissance, bioaccumulation), mais les outils expérimentaux sont en place (station d'Argenton). La structure et le fonctionnement des réseaux trophiques, et l'impact des populations cultivées, sont en cours d'étude. Les outils de simulation ne se limitent alors pas à la résolution numérique de systèmes d'équations différentielles et d'autres outils peuvent être nécessaires (modélisation inverse, modèles stochastiques, analyse des systèmes dynamiques).
- Le développement des modèles et leur mise en ouvre sont améliorés par l'existence d'un Pôle modélisation (CREMA/ULR), les collaborations DRV/DEL et le transfert de connaissances par la formation (DEA EDEL, formation interne).
- Enfin, l'instrumentation et l'expérimentation sont des outils indispensables pour la calibration et la validation des modèles, comme l'organisation des connaissances sur les écosystèmes conchylicoles sous la forme de base de données et de système d'information géographique.

Atelier Instrumentation

Les outils et projets à l'IFREMER : Amphybi, Marel

J. Legrand

AMPHYBI : Appareil de mesure de la physiologie des bivalves

Cet appareil, dont un prototype de démonstration a été développé en 2001 par TMSI-RED (L. Delauney) a fait l'objet d'une expérimentation en laboratoire à Brest et à la station d'Argenton pour en évaluer les performances métrologiques.
L'appareil est constitué, principalement, de 2 chambres placées en ligne dans un circuit hydraulique dans lequel circule l'eau de mer. Un dispositif de mesure en aval des chambres permet de mesurer, alternativement dans l'une et l'autre chambre les paramètres suivants :

- température,
- fluorescence,
- D.O.

L'expérimentation consiste à placer le bivalve à étudier dans l'une des chambres, la seconde servant de témoin. Le système est piloté par un PC équipé d'un logiciel de pilotage sous labview, permettant la commande des différentes séquences ainsi que l'enregistrement des données. Les résultats obtenus sont présentés dans les transparents. On obtient tant sur la fluorescence que sur l'oxygène un signal cohérent. Il convient cependant d'améliorer le circuit hydraulique pour réduire les pertes de charge créant des dégazages dans la cellule de mesure et l'échauffement de l'eau en mode circuit fermé. Un nouveau développement portant sur un appareil transportable et opérable sur site est en cours d'étude.

MAREL : mesures à haute fréquence, *in situ*, automatisées et accessibles en temps réel.

Le système MAREL a été développé dans la période 1995-1997 dans un objectif de surveillance environnemental : suivre les niveaux et tendance des principales grandeurs représentatives de la qualité des eaux littorales. Les premières données sont obtenues en baie de Seine à Honfleur en janvier 1997. Le réseau compte aujourd'hui 4 stations de mesure : 3 stations marines et 1 station estuarienne. Après une période d'exploitation opérationnelle de plus de 5 ans, la technologie MAREL est aujourd'hui validée :

- le concept et le choix des capteurs,
- les procédures opérationnelles (maintenance préventive et contrôle qualité métrologique).

Une ligne de produits permet d'adapter la technique à une variété de conditions de mise en œuvre : sur une bouée, une infrastructure portuaire ou à l'intérieur d'un bâtiment. Les principes généraux utilisés sont les suivants :

- les échantillons d'eau sont pompés à plusieurs niveaux de la colonne d'eau et amenés dans une chambre de mesure où un jeu de capteurs unique sont montés en ligne,
- cette disposition des capteurs permet leur protection contre le biofouling,
- un système de communication bidirectionnel utilisant un protocole TCP/IP permet le contrôle à distance des stations ainsi que l'accès aux données depuis n'importe quel point de l'Internet,
- le remplacement périodique (3 mois) du jeu de capteurs et leur recalibration en laboratoire de métrologie permet d'atteindre une qualité optimale des données,
- les données sont validées périodiquement (archivées
- l'ensemble des procédures opérationnelles sont écrites pour permettre l'externalisation des opérations d'exploitation du réseau.

Il existe 3 types de station de mesure :
- station estuarienne : voir description sur la page web MAREL.
- station marine : voir description sur la page web MAREL
- station en site protégé : il s'agit d'un système de mesure MAREL installé à l'intérieur d'un bâtiment. Il est ainsi directement relié aux réseaux électrique et téléphonique. Une première réalisation a été faite à l'écloserie d'Argenton (MAREL-SAPHYRE).

Les données sont reçues à la station de gestion deux fois par jour et sont accessibles par le réseau Internet sous forme numérique ou graphique. Les développements technologiques en cours actuellement concernent l'installation de capteurs additionnels sur MAREL Iroise, la mise au point d'un préleveur d'échantillons téléopérable, la réalisation d'un ancrage monobrin avec une fonction de prélèvement ainsi que le flotteur associé pour la station marine (application prévue en baie de Vilaine dans le cadre du défi Golf de Gascogne). Enfin, un nouveau site est en cours d'équipement à Boulogne où une station marine sera installée au pied du phare de la digue Carnot dans une structure fixe. Le nombre des sites MAREL en France est en progression. On distinguera, selon le degré d'avancement des dossiers :
- les sites en exploitation opérationnelle : baie de Seine, Iroise, Pont ar Bled (eau douce);
- les sites en phase de développement : Argenton, Boulogne-Carnot, baie de Vilaine ;
- les sites en phase de négociation : Gironde (4 stations estuariennes), Kerléguer (eau douce), MOREST (baie des Veys, rivière d'Auray et Marennes), Perpignan, Etang de Thau.

Dans le but de donner une unité à cet ensemble de dossiers très divers par leurs objectifs et leurs montages contractuels mais faisant appel à la même filière technologique et aux mêmes pratiques opérationnelles, il a été décidé la mise en place d'une organisation nationale appelée ROSLIT (réseau d'observation automatisée, haute fréquence, des eaux littorales). Parmi les objectifs affichés, on retiendra que ROSLIT se propose :
- d'assurer la cohérence technique des activités de surveillance haute fréquence des eaux côtières,
- d'assurer la cohérence des méthodes d'exploitation et notamment de l'assurance qualité des données depuis la prise de mesure jusqu'à l'archivage des données.

En conclusion, la technologie MAREL atteint aujourd'hui une maturité qui permet d'entrevoir un nombre croissant d'applications pour peu que ces développements ne s'accompagnent d'une réduction des coûts unitaires.

Instrumentation et Aquaculture

H. Chartois

Les espèces aquatiques ont pour principale propriété d'avoir l'intégralité de leur métabolisme qui se déroule dans le milieu où elles vivent. Une approche des conditions optima nécessite la réalisation de nombreux cycles d'élevage ainsi que la prise en compte de grandes séries temporelles d'informations diverses dont beaucoup de mesures telles que température, oxygène dissous, pH, turbidité, etc ... qu'il est indispensable d'automatiser. Cette acquisition automatique permet :
- de libérer du temps pour le personnel technique,
- d'autoriser une significative augmentation des paramètres pris en compte ainsi que de la fréquence de réalisation de ces mesures,

- d'assurer en outre une meilleure reproductibilité des résultats en éliminant le facteur individuel, cause de beaucoup d'écarts dans les relevés manuels...

De plus, l'automatisation offre la possibilité de pouvoir mettre en service ou stopper des matériels tels que aérateurs, pompes ... permettant d'envisager une optimisation de la gestion de la qualité de l'eau des élevages.

Au CREMA, l'instrumentation a tout d'abord été au service du laboratoire afin d'aider les chercheurs dans leurs études concernant la physiologie des poissons, des mollusques ou des crevettes :

- Automate d'acquisition de multiples paramètres physico-chimiques dans un mésocosme utilisé lors d'études concernant la physiologie des poissons.
- Automate gérant 18 enceintes individuelles et permettant le suivi de facteurs divers, appliqué à des recherches sur la physiologie des mollusques.
- Dispositif automatique mesurant la consommation d'oxygène par des crevettes en expérimentation à la demande de nos collègues de Nouméa.

Mais, l'arrivée du programme européen Genesis (cf. présentation de J. Hussenot) et la mise en place du pilote au CREAA a nécessité la réalisation d'un dispositif assurant l'acquisition des diverses mesures relatives à son fonctionnement ainsi que le pilotage de l'aération et des débits circulant. Le matériel utilisé est modulaire, alimenté en basse tension, et la plupart des capteurs employés sont d'origine industrielle pour plus de fiabilité. Grâce au logiciel d'instrumentation virtuelle LabVIEW, une interface utilisateur conviviale a été développée permettant un dialogue aisé avec l'utilisateur non spécialiste. Une application de ce projet à d'autres sites est possible :

- développement instrumental dans le cadre des études concernant le bassin de Marennes-Oléron,
- mise en place d'un équipement analogue à celui de GENESIS dans le cadre du programme DEMOS pour la Nouvelle Calédonie.

Par ailleurs, quelques petites réalisations d'instruments à faible coût sont évoquées :

- la transmission par liaison série radio FM de données sur de petites distances, ou bien par l'emploi de modems de type GSM
- la mise au point de petits automates de mesures et de pilotage de périphériques à très faible coût grâce à l 'utilisation de modules autonomes PIC (Programmable Integrated Circuit).

En conclusion, il faudrait qu'à l'intérieur du département Ressources Aquacoles, les personnes motivées ou intéressées par un développement instrumental au laboratoire comme sur le terrain, partagent leur expérience, leur savoir faire concernant les dispositifs d 'acquisition ainsi que leur choix dans le domaine des capteurs. C 'est ensemble que nous devons demander une assistance technique au département TMSI.

Atelier analyse et base de données

Les bases de données

Anne-Geneviève Martin

Si l'on entend par donnée géographique toute donnée géoréférencée qui peut être représentée cartographiquement, toutes les données Ressources Aquacoles de terrain en font partie. Il faut toutefois distinguer les données de base (IGN, SHOM, AFMAR) qui permettent d'établir les couches d'information-support et les données acquises au fil des études (DEL, RA) qui prennent appui sur les premières pour établir les couches utiles à la gestion des Ressources.

C'est sur l'organisation de ces dernières, les données acquises, que porte cet exposé qui s'organise autour de 4 points : les différents niveaux d'archivage, les contraintes liées à l'archivage, les solutions en cours de réalisation à RA et la disponibilité des données.
- Il y a plusieurs niveaux d'archivage : l'archivage des données brutes précède l'analyse, et celle-ci fournit des informations qui peuvent, à leur tour, être archivées pour d'autres utilisations.
- Le partage des données implique un niveau de technicité et de coût croissant selon qu'il concerne les acteurs d'une même étude en interne, ceux d'un même organisme ou bien des partenaires de différents organismes - il implique également une obligation de standardisation et de qualité des données ainsi qu'une information descriptive précise (métadonnées).
- Le programme Système d'Information Conchylicole, identifié officiellement en janvier 2002, a pour but le choix et la réalisation des solutions pour la gestion des différentes données du Département liées à la conchyliculture - il pourrait être élargi aux autres ressources aquacoles. Il résulte de la coopération entre TMSI/IDM et DRV/RA.
La première solution en cours de réalisation est la nouvelle application REPAMO. D'autres viendront pour les suivis conchylicoles, les stocks et les données du milieu. Des étapes intermédiaires sont en cours ou prévues devant l'urgence du partage (REMORA, MOREST, données suivis du milieu).
- Qui dit archivage dit possibilité d'extraction des données, et mise à disponibilité pour les utilisateurs - là aussi différents niveaux de solutions existent selon la dispersion de ces utilisateurs. Un besoin d'unification se fait sentir devant la multiplicité des données et des acteurs - certaines instances officielles y encouragent (CNIG), mais le chemin est encore long...et RA n'en est qu'au début...

L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques

Ph. Grosjean – DEL/AO

A l'image des données des réseaux de surveillances de la DEL (REMI, REPHY, RNO, IGA), l'acquisition et le traitement des séries à long terme nécessite l'utilisation d'outils et de méthodes adaptés. La présentation de l'information dans une base de données cohérente et correctement structurée est une première étape indispensable à l'analyse de séries longues. La base QUADRIGE qui regroupe les données de tous les réseaux de surveillance (actuellement plus de 2 millions d'enregistrements) représente un tel outil. Le traitement de données en océanographie nécessite des outils spécifiques parce que de telles données sont souvent acquises de manière irrégulière dans le temps et/ou dans l'espace, et il est très difficile, voire impossible, d'en dissocier la composante spatiale de la composante temporelle. Elles sont donc traitées comme « séries spatio-temporelles ». Le type de traitements qui peuvent leur

être appliqués sont : la régularisation (interpolation de valeurs manquantes), la décomposition en tendance / composantes cycliques saisonnière ou autre / résidus ; chaque composante peut ensuite faire l'objet d'une étude (autocorrélation, analyse spectrale,...), voire d'une modélisation. Le nombre de covariables potentiellement explicatives est également, la plupart du temps, très important, ce qui explique l'intérêt particulier pour les techniques d'analyses multivariées. Enfin, d'autres méthodes existent pour déterminer le meilleur pas d'échantillonnage de la série, ou pour la segmenter (détection de transitions ou d'événements particuliers). Ces diverses méthodes sont présentées sur base d'exemples issus des séries à long terme des réseaux de surveillance. Le cas concret de l'élaboration du bulletin de surveillance à l'aide des outils AURIGE, et une introduction à la librairie PASTECS (*Package for the Analysis of Space-Time Ecological Series*) illustrent tant le savoir faire que les outils disponibles au sein de l'IFREMER en matière d'analyse des séries spatio-temporelles. L'accent est mis sur les méthodes alternatives de traitement de certains types de données, telles que le traitement des événements, illustré par l'étude des occurrences de blooms phytoplanctoniques. Etant donné la diversité des approches et des méthodes, il est important dans ce domaine de poser des questions ciblées, qui soient en adéquation tant avec le plan d'expérience qu'avec les méthodes d'analyse disponibles.

Applications SIG dans le département RA

O. Le Moine, LCPC Ifremer la Tremblade

Dans ses aspects essentiels, le SIG est un outil de gestion spatiale et temporelle, structurant par rapport à l'aire géographique couverte par les laboratoires. C'est le point de rencontre des thèmes fédérateurs (observation- surveillance, modélisation et mise en valeur de la mer côtière, optimisation des filières de production). C'est également un outil précieux d'aide à la décision et de communication dans les missions d'avis et de conseil (administration / profession).
Les différentes applications développées au sein du département sont d'ordre et de nature diverse. Certaines sont des utilisations "standards" du logiciel (cartographie, sélection de sites), d'autres sont plus particulièrement appliquées à nos missions, comme les calculs d'indices liés à la parcelle ostréicole, ou les échantillonnages spatialisés de cheptels en élevage utilisés dans les programmes de recherche sur les mortalités estivales d'huîtres.

Des outils d'investigation ont été développés, basés sur le SIG, pour optimiser l'accomplissement des missions des laboratoires. Le premier est un outil d'acquisition de données environnementales spatialisées (SIG embarqué), de façon à mieux appréhender l'hydrodynamisme local, la ressource trophique et valider les modèles élaborés par ailleurs. Le second est un outil d'évaluation et de gestion des stocks conchylicoles, avec un lien SIG/ACCESS.
Les mouvements de personnel, ainsi que le changement de logiciel qui s'annonce vont rendre encore plus nécessaire la disponibilité de développeur dans l'Institut, d'une part pour les applications du type GPSVIEW, d'autre part pour développer des applications qui rendent les sorties modèles exploitables par les laboratoires.

Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien : le bassin de Marennes-Oléron.

P. Soletchnik

Le bassin de Marennes Oléron, premier bassin ostréicole français, est une zone estuarienne soumise aux pressions anthropiques. Les paramètres météorologiques : température, insolation, pluviométrie déterminent pour une grande part les conditions saisonnières de température et de salinité de l'eau de mer et contrôlent les apports de sels nutritifs, la production primaire et secondaire du bassin. La tendance en température de l'air (Météo – France) reste voisine de 12,5°C entre 1950 et 1980, puis augmente de plus de 1°C en 20 ans. Durant le même demi-siècle, la tendance de l'insolation passe de 198 heures à 176 heures, correspondant à une perte de 11 %. La distribution saisonnière des apports en eau montre que la pluviométrie printanière a augmenté de près de 30 % entre le milieu du siècle dernier et les deux dernières décennies. Les précipitations montrent également un décalage de saisonnalité et un déséquilibre dans la répartition de leur abondance au cours de ces dernières décades. Ces évolutions sur le moyen terme, s'accentuent au cours des 2 dernières décennies et se répercutent sur l'écosystème estuarien.

Cette étude montre que les pics de productions primaires (blooms phytoplanctoniques), principale ressource alimentaire des huîtres, se sont progressivement déplacés du mois de mai au mois de juin au cours des 3 dernières décennies. Température et ressource trophique conditionnent la croissance et la reproduction de l'huître *C.gigas*. Une étude effectuée au cours de l'année 2000 sur 4 populations d'huîtres en élevage à plat et sur table montre nettement un exemple de "discontinuité" dans le processus de vitellogénèse, souvent rencontré ces dernières années. Ralentissement de la vitellogénèse lié au retard et à l'étalement des blooms phytoplanctoniques, "antagonisme biologique" affectant les huîtres, et (ou?) dysfonctionnement physiologique "épuisant" l'huître au moment de la maturation (alternance de différentes voies métaboliques énergétiques), sont autant de pistes dont l'exploration doit se poursuivre pour la compréhension des mortalités estivales. Ce comportement physiologique peu "économe" peut être la manifestation d'une réponse adaptative de *Crassostrea gigas* à l'évolution climatique. L'augmentation significative de la température et la baisse de l'insolation exercent des effets inverses sur le plan du métabolisme ; la première dans le sens de l'accélération de la gamétogenèse et la seconde dans le sens d'un retard dans la vitellogénèse par manque de disponibilité alimentaire. L'étalement de la durée de la vitellogénèse ainsi que le décalage saisonnier des pontes au fil des décennies, sont autant de réponses biologiques qui reflètent les effets du "global change" sur la productivité II^{aire} de l'écosystème estuarien du Bassin de Marennes Oléron.

Synthèse

Bilan modélisation

La modélisation apparaît comme un outil efficace et indispensable à différents programmes du département RA. De plus, une convergence a été trouvée avec les thématiques de la DEL. Elle concerne :

- l'utilisation de codes de calcul (SiAM 2D, 3D) et de concepts de modélisation (modèles en boites spatiales)
- le développement de modèles de dynamique de population (populations naturelles en Manche par DEL/EC, populations exploitées dans l'étang de Thau par RA),
- le besoin de modèles d'écophysiologie permettant d'évaluer la bioaccumulation de différents contaminants chez la moule (PCB, métaux).

Des convergences fortes existent également avec les autres modélisateurs de MAERHA, dont l'analyse des systèmes exploités rejoint celle de RA (environnement, individu, population, système d'exploitation). DRV/D a ainsi proposé un réseau de modélisateurs qui pourrait s'appuyer sur le réseau existant AMEDEE pour l'élargir à des thématiques environnementales – il s'agit à l'heure actuelle de journées de discussion et de présentation de travaux, à une fréquence bimensuelle.
La modélisation est partie prenante de plusieurs projets en cours : MOREST (mortalité huîtres), GENESIS (aquaculture intégrée), RINBIO (réseau de moules sentinelles de bioaccumulation), et éventuellement DEMOS (mortalité crevettes), REPER (réseau d'observation des Pertuis Charentais), PNEC Baie du Mont Saint-Michel (capacité trophique).
La prospective menée à l'occasion de ces projets conduit à développer et/ou renforcer certaines thématiques :

- Écophysiologie des mollusques : l'écophysiologie intervient dans la détermination de la capacité trophique, dans le déterminisme des mortalités estivales (notamment via la gamétogenèse et la sensibilité aux stress environnementaux) et la bioaccumulation de contaminants. A l'heure actuelle, il reste à définir un modèle générique applicable à différents sites – e.g. baie de Seine, baie du Mont St Michel, baie des Veys, Pertuis Charentais, étang de Thau et façade méditerranéenne.
- Instrumentation pour la validation et le forçage des modèles d'écosystème (mesures en continu de paramètres hydrobiologiques), mise en place de bases de données, analyse des séries temporelles pour identifier les différentes sources de variabilité environnementale et définir des scénarios de modélisation.
- Réflexion sur l'existence, l'application et le développement de modèles en épidémiologie et, de manière plus générale, sur les risques de contamination des populations naturelles liée aux échappements des espèces en élevage.

La stratégie de renforcement de la modélisation au Département s'appuiera sur :

- Le recrutement de spécialistes ayant une compétence en modélisation – cela a été le cas de l'écophysiologiste recruté à Argenton, ce sera le cas de celui recruté prochainement au CREMA (remplacement de S. Bougrier).
- Le recrutement d'un modélisateur au CREMA pour le développement des interfaces modèles/bases de données/SIG, la définition de stratégie d'instrumentation et la validation des modèles d'écosystème – poste classé prioritaire par RA pour 2003.
- Les coopérations internes IFREMER – DEL/EC, DRV/MAERHA. Il est notamment prévu de mettre en place un sujet de thèse fin 2003 (bourse IFREMER) pour la

modélisation des relations aquaculture/environnement en baie des Veys dans le cadre de MOREST, avec une codirection DEL/DRV.

- La poursuite des collaborations CREMA/ULR – une thèse est en cours sur la modélisation des réseaux trophiques anthropisés avec codirection C. Bacher/N. Niquil.
- Le suivi et le soutien de projets (Circuit Fermé Poissons – Palavas, DEMOS)
- La formation à partir d'une association DEL/DRV, concernant aussi bien la modélisation que l'analyse des données de manière à tenir compte des compétences de la communauté de modélisateurs et statisticiens.
- Le renforcement d'outils expérimentaux adaptés et nécessaires à la paramétrisation des modèles (canal écobenthique, banc d'écophysiologie, simulateurs de mécocosmes, station de zootechnie marine).

Bilan instrumentation

RA a besoin de développement d'instruments spécifiques ou d'applications d'instruments déjà existant dans le cadre de ses propres projets. Dans le premier cas, on a vu tout l'intérêt d'un système comme AMPHYBI répondant aux besoins d'une communauté d'utilisateurs dépassant RA, dont la mise au point par TMSI permet de valider la qualité des mesures, mais avec un temps de développement et un coût non négligeable. Dans la même catégorie, mais suivant une démarche différente, le CREMA a développé un certain nombre d'outils adaptés à la demande de certains utilisateurs (automate d'acquisition multi-paramètres en mésocosme ou en marais – projet GENESIS), avec certains avantages : flexibilité et temps de réponse rapide, choix de matériel /logiciel industriel limitant les coûts et faciles à remplacer.
Dans le deuxième cas, TMSI a développé le système MAREL pour des applications très générales en milieu côtier, qui se décline sous plusieurs versions (SE estuarienne, SM marine, SP protégée dont une application à Argenton), mais reste en général peu abordable en termes de coût, requiert un affichage dans des projets ambitieux, et ne correspond pas, jusqu'à présent, aux besoins dans les domaines très côtiers à faible bathymétrie (estrans, marais). La demande de capteurs automatiques dans des projets comme MOREST est telle cependant qu'une version de MAREL adaptée sera proposée en 2003 – avec affichage à l'EPRD et positionnement dans les 2 sites Bassin de Marennes Oléron et baie des Veys.
Une question importante concerne la mise en œuvre d'instruments du commerce (turbidimètre, sonde O2, fluorimètre) dont la qualité de la mesure n'est pas certifiée, qui nécessitent une intercalibration et peuvent présenter des dérives importantes lors d'utilisation dans les zones littorales (fouling ...), et dont le service après vente et la maintenance peuvent s'avérer problématiques. Encore une fois, ils présentent l'avantage de la flexibilité et de la facilité de mise en œuvre, ce qui constitue des critères importants dans des projets régionaux comme REPER (Observatoire pour la Recherche en Environnement proposé pour les Pertuis Charentais).

Face à ces défauts d'organisation et l'urgence des demandes, il est apparu primordial de nommer un coordinateur RA responsable d'un groupe de travail, dont la fonction est d'évaluer les demandes des utilisateurs au niveau de RA, répertorier les outils disponibles sur le marché et évaluer leur utilisation, et proposer des solutions internes RA ou en association avec TMSI dont il sera le correspondant au niveau du Département.
D'ores et déjà, une demande à l'EPRD 2003 sera faite pour l'adaptation de MAREL dans le cadre de MOREST, la poursuite d'AMPHYBI et un soutien à DEMOS (aquaculture crevette en Nouvelle Calédonie) est en cours à partir du savoir-faire acquis au CREMA dans le cadre du projet GENESIS.
D'une façon générale, une démarche de type projet avec les compétences TMSI est hautement conseillée par DRV/RA.

Bilan base/analyse de données

Les principaux développements de bases de données Ressources Aquacoles concernent les données de réseaux existants ou d'études pluridisciplinaires : réseaux REPAMO, REMORA, données de suivi du milieu (réseau RAZLEC - données haute fréquence), stocks conchylicoles, programme MOREST. Ces outils spécifiques sont mis en place avec l'implication de TMSI en coopération avec la responsable RA chargée du recensement et de la coordination des demandes internes au Département. Ce mode de fonctionnement est tout à fait opérationnel et assure une certaine souplesse dans la réalisation d'outils adaptés dont l'ensemble doit constituer le SIC (Système d'Information Conchylicole) qui pourrait devenir SIA (pour Aquacole) puisqu'il existe, entre autres, un projet de base crevettes. Ce système complète les développements de bases de données au sein de la DRV qui s'est intéressée jusqu'ici au développement du SIH (Système d'Information halieutique) dont la refonte actuelle fait partie des projets prioritaires. Les Systèmes d'Information Géographique peuvent s'appuyer sur ces bases de données. Ils représentent un niveau d'organisation des données dans un but de représentation cartographique et d'aide à la compréhension et à la décision. Il existe un outil généraliste pour l'ensemble de l'IFREMER, le serveur de données géographiques SEXTANT qui permet une certaine harmonisation et centralisation des données d'intérêt national ou régional comme les cadastres conchylicoles et qui est complété par des sites thématiques restreignant l'accès aux données relatives à certains projets (DEFIS, SIH, ...).

Par contre, des développements locaux ont été réalisés dans certains laboratoires (LCPC, CREMA) : cartographie des marais maritimes charentais, SIG embarqué, base de données stocks et analyse des photos aériennes pour l'estimation des taux d'exploitation, interface modèle/SIG pour la capacité trophique, outils d'estimation de la productivité biologique des sites conchylicoles. Ces outils simplifient l'analyse des données et permettent de fournir des avis à la profession ostréicole. Ces développements sont limités par le manque de développeurs disponibles pour répondre à des demandes spécifiques. Le changement actuel de logiciel SIG accentuera à l'avenir le fossé entre les demandes et la capacité de réponse en interne - c'est d'ailleurs vrai pour l'IFREMER en général. Une véritable hiérarchisation des besoins et une réflexion sur les besoins communs aux différents laboratoires côtiers du Département restent à définir.

De même, l'analyse statistique des données est réalisée localement en fonction des potentiels existant dans les laboratoires côtiers – aussi bien en ce qui concerne les données disponibles que les compétences. Par contre la réalisation du logiciel PASTECS dans le cadre du PNEC ouvre des perspectives : bibliothèque d'outils statistiques libre d'accès, formation proposée par la DEL, exemples d'applications à des séries temporelles...L'utilisation de ces outils requiert un effort d'apprentissage d'un logiciel approprié (S+ ou R), mais cette adaptation n'est pas incompatible avec l'utilisation d'autres logiciels.

Conclusion

L'interconnexion entre instrumentation, base de données, analyse de données et modélisation est évidente. Elle rend nécessaire une démarche projet cohérente, d'une part en faisant appel aux compétences existantes dans les différents domaines (partenariat en interne IFREMER avec TMSI et DEL), d'autre part en coordonnant les demandes spécifiques et la mise en œuvre des outils et méthodes existant. Cette démarche sera nécessairement renforcée par la mise en place des projets européens dans le cadre du 6ème PCRD, dont une caractéristique essentielle est l'ambition pluridisciplinaire et pluri-thématique qui conduira à l'émergence de communautés de compétences et d'équipes de recherche.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	liste des intervenants et des participants
Annexe 2	Mortalités Estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* - ***J.F. Samain***
Annexe 3	Le programme DEMOS, Défi Mortalité *Stylirostris* en Nouvelle Calédonie ***H. Lemonnier***
Annexe 4	Capacité trophique et impact de l'aquaculture dans les baies chinoises ***C. Bacher***
Annexe 5	GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets - ***J. Hussenot***
Annexe 6	REPER : Recherche sur les Ecosystèmes des Pertuis charentais - ***P. Gentien***
Annexe 7	Projet GAMBAS (Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture Shrimps) - ***J.L. Martin***
Annexe 8	Etude des systèmes recyclés : modélisation et traitement des rejets - ***J.P. Blancheton***
Annexe 9	Modèles mathématiques en écologie cotîère : l'expérience de la DEL ***A. Mesnesguen***
Annexe 10	Modélisation des interactions écosystème/aquaculture - ***C. Bacher***
Annexe 11	AMPHYBI : Appareil de mesure de la physiologie des bivalves - ***J. Legrand***
Annexe 12	MAREL : mesures à haute fréquence, in situ, automatisées et accessibles en temps réel - ***J. Legrand***
Annexe 13	Instumentation et Aquaculture - ***H. Chartois***
Annexe 14	Les bases de données - ***A. G Martin***
Annexe 15	L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques - ***P. Grosjean***
Annexe 16	Les serveurs de données géographiques - ***M. Bellouis***
Annexe 17	Applications SIG dans le département R.A. - ***O. Le Moine***
Annexe 18	Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien, le Bassin de Marennes Oléron - ***P. Soletchnik***

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	liste des intervenants et des participants
Annexe 2	Mortalités Estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* - ***J.F. Samain***
Annexe 3	Le programme DEMOS, Défi Mortalité *Stylirostris* en Nouvelle Calédonie ***H. Lemonnier***
Annexe 4	Capacité trophique et impact de l'aquaculture dans les baies chinoises ***C. Bacher***
Annexe 5	GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets - ***J. Hussenot***
Annexe 6	REPER : Recherche sur les Ecosystèmes des Pertuis charentais - ***P. Gentien***
Annexe 7	Projet GAMBAS (Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture Shrimps) - ***J.L. Martin***
Annexe 8	Etude des systèmes recyclés : modélisation et traitement des rejets - ***J.P. Blancheton***
Annexe 9	Modèles mathématiques en écologie cotière : l'expérience de la DEL ***A. Mesnesguen***
Annexe 10	Modélisation des interactions écosystème/aquaculture - ***C. Bacher***
Annexe 11	AMPHYBI : Appareil de mesure de la physiologie des bivalves - ***J. Legrand***
Annexe 12	MAREL : mesures à haute fréquence, in situ, automatisées et accessibles en temps réel - ***J. Legrand***
Annexe 13	Instumentation et Aquaculture - ***H. Chartois***
Annexe 14	Les bases de données - ***A. G Martin***
Annexe 15	L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques - ***P. Grosjean***
Annexe 16	Les serveurs de données géographiques - ***M. Bellouis***
Annexe 17	Applications SIG dans le département R.A. - ***O. Le Moine***
Annexe 18	Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien, le Bassin de Marennes Oléron - ***P. Soletchnik***

ANNEXE 1

LISTE DES INTERVENANTS ET PARTICIPANTS

Liste des intervenants :

C. Bacher, H. Chartois, J. Hussenot	CREMA L'Houmeau
P. Gentien, J.L. Martin	CREMA L'Houmeau
J.P. Blancheton, A. Dosdat	Palavas
M. Bellouis, J. Legrand	TMSI Brest
A. Ménesguen	DEL Brest
P.Grosjean	DEL Nantes
A.G. Martin	La Trinité
O. Le Moine, P. Soletchnik	LCPC La Tremblade
J.F. Samain	LPI Brest
H. Lemonnier	Nouvelle-Calédonie
M. Héral	DS Issy

Participants :

M. Ropert	Port-en-Bessin
J.C. Cochard, S. Pouvreau,	LPI Brest
J. Zambonino	ARN Brest
Pr. M. Mathieu + S. Lefebvre	Université de Caen
J. Mazurié	La Trinité
J.L. Martin, J. Haure	LCPL Bouin
E. Bédier, F. Berthe, P. Boudry	LGP La Tremblade
P. Goulletquer, M. Fréchette	LGP La Tremblade
A. Bodoy, A. Herbland	CREMA L'Houmeau
S. Kaushik	St-pée
D. Buestel	LCM Sète
J.M. Deslous Paoli, D. Lacroix	Palavas
J.C. Dao	Martinique
P. Lemercier	La Réunion
P. Gros	DRV Nantes

Equipe direction Nantes

A. Gérard, J.P. Baud, Y. Harache, E. Lassalle, L. Kerjouan, S. Feuilleaubois, N. Conche

ANNEXE 2

Mortalités estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas*

J. F. SAMAIN

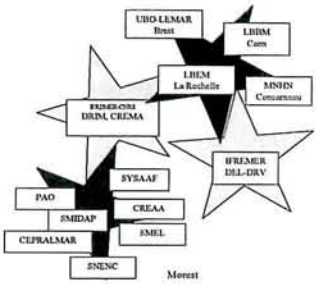
MOREST

Mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas*

environnement et actions 2002

Morest

Programme pluridisciplinaire en réseau de collaborations scientifiques, techniques et professionnelles

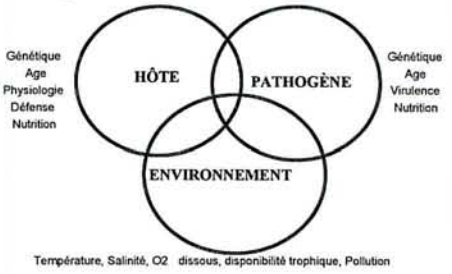


Morest

..*Les mortalités*

- Phénomène décrit dès 1940 au Japon, 1950 en Amérique du Nord et 1990 en France
- 30 à 60% de mortalité selon les sites
- Répartition par tâches, diversité de sites
- associées principalement :
  - au stade juvénile, mais aussi 1-2-3 ans
  - à des températures estivales,
  - à la période de reproduction
- Aucun des pathogènes (virus, vibrio) n'explique l'ensemble des mortalités

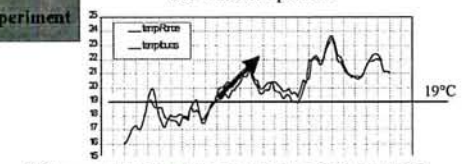
Un mécanisme d'interactions complexes



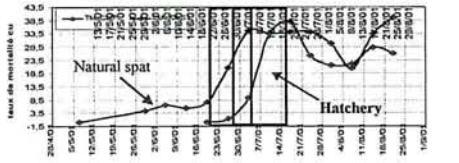
Effet de la température (19°C)

Fouras experiment

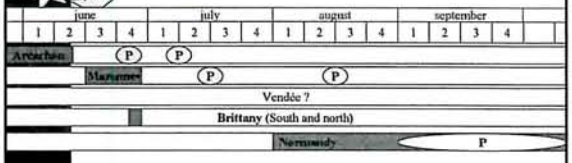
Sea water temperature



Mortality



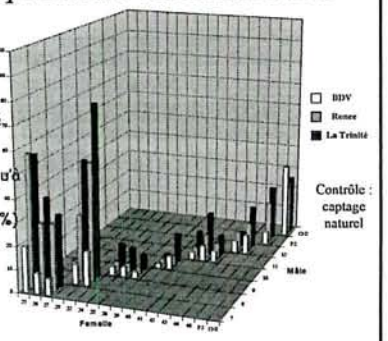
Dynamique géographique des mortalités



- **La dynamique des mortalités est superposable à la période de reproduction**
- **Le plus grand risque correspond à la durée du stade III A et B de la reproduction (fin de vitellogenèse)**
- **Les mortalités sont initiées avant la ponte**

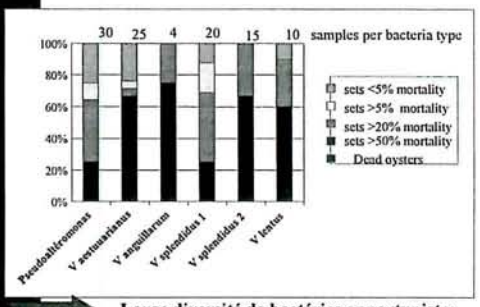
Les premiers résultats 2001

composante "
nétique forte "
lque soit "
osystème testé.
sensibles : "
(mortalités jusqu'à
70%) "
résistantes (<5%)
s une intensité "
s contrôle de
vironnement



Juvéniles

Bacteries associées aux mortalités



Large diversité de bactéries opportunistes

Les grands axes du projet

) Mise au point d'outils
) Caractérisation *in situ* des mortalités
) Reproduction expérimentale des mortalités
stivales : découplage des paramètres
) Synergies REPAMO - MOREST
(5) Caractérisation de l'environnement
) Tests expérimentaux et/ou *in situ* pour
'affranchir des mortalités estivales
) communication, gestion des données
) Gestion et organisation du projet

Les grands axes du projet

5) Caractérisation de l'environnement : séries
istoriques (20-30 ans)
RNO, REPHY, REMORA, REPAMO, REMI)

- Analyse de l 'évolution pluriannuelle
- Analyse des variations inter-annuelles
- Analyse des caractéristiques géographiques locales
- Recoupement avec les mortalités (épidémiologie environnementale phase 1)

Les grands axes du projet

Caractérisation de l'environnement : complément
données

stimation des flux de tous les rejets d 'origine terrestre,
rainés par les rivières (Baie des Veys, Marennes)

ests sur embryons d 'huîtres de la qualité des eaux
ouces avant l 'embouchure marine

ise en place de trois stations de mesure du réseau
ydrologique Normand en BDV.

ise en place d 'une thèse sur la production de
hytoplancton en BDV

Les grands axes du projet

Caractérisation de l'environnement : modèles

daptation des modèles de dispersion et d'
ydrobiologie à la Baie des Veys

imulations de scénarios climatiques

imulations de scénarios de rejets par les
ivières (anthropiques)

ouplage avec les mortalités (épidémiologie
nvironnementale phase2)

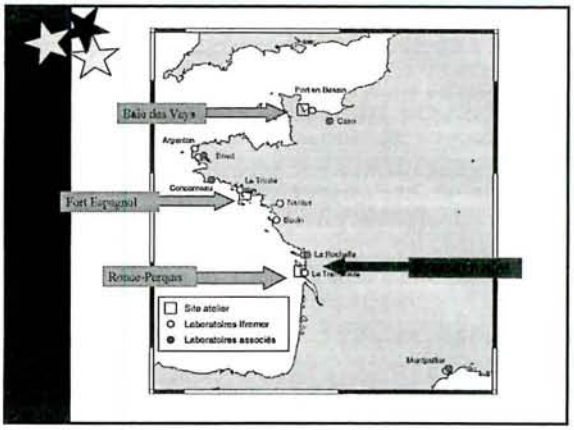
Les grands axes du projet

) Caractérisation *in situ* des mortalités

- Quels sont les paramètres biologiques et environnementaux associés aux mortalités ?
- Quelle est la séquence d'évènements?
- Existe-t-il des individus plus résistants aux mortalités estivales ? Si oui, cet effet a-t-il une base génétique sélectionnable ?

45 familles et du naissain naturel de 2 origines

sites environnementaux instrumentés (Marennes, retagne, Normandie)



Actions *2002*

- *Études de la dynamique entre mars 2002 et mars 2003*
  - *Suivi BDV : dynamique locale :* **écloserie 2000, 18 mois naturel, Triplo**

Actions *2002*

- *Études de la dynamique entre avril et octobre*
  - *Stratégie de reproduction :* **Population XX, naissain naturel, G1, G2, Triplo**

Marennes | Baie des Veys

Actions *2002*

- *Études de la dynamique entre avril et octobre*
  - *Stratégie de reproduction :* **Population XX, naissain naturel, G1, G2, Triplo**

Marennes | Baie des Veys

- Comparaison de familles sensibles et résistantes de la G1

Sensibles
Résistantes

Actions *2002*

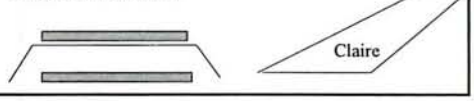
- *Études de la dynamique entre avril et octobre*
  - *Stratégie de reproduction :* **Population XX, naissain naturel, G1, G2, Triplo**

Marennes | Baie des Veys

- Comparaison de familles sensibles et résistantes

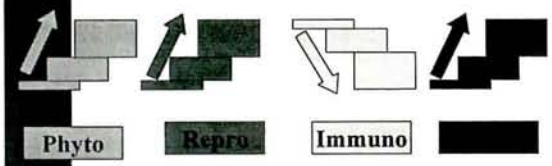
Sensibles
Résistantes

- Effet du sédiment



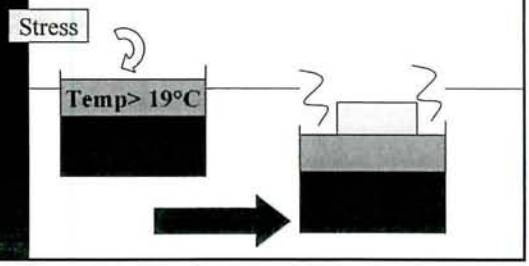
Les grands axes du projet

Reproduction expérimentale des mortalités vales : effet nourriture



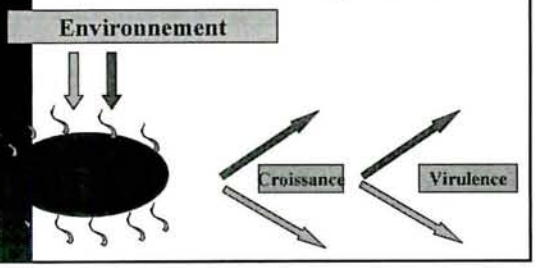
Les grands axes du projet

Reproduction expérimentale des mortalités vales : Repro + température + stress



Les grands axes du projet

Reproduction expérimentale des mortalités vales : Environnement/ Pathogène/ Hôte



Les grands axes du projet

) Tests expérimentaux et/ou *in situ* pour sortir de la crise

Sorties « amélioration » génétique (familles, polyploïdes)

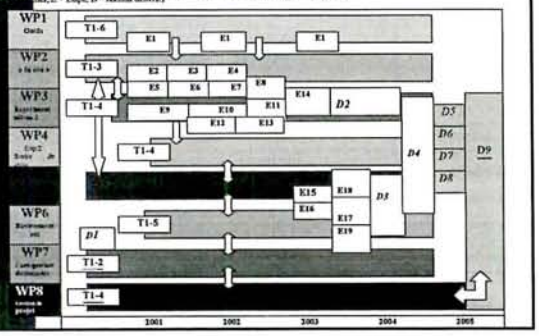
Sorties zootechniques :

- diminuer le risque pendant la phase biologique sensible (provoquer la ponte, transferts entre zones,…),
- effet d'apprentissage par un événement précoce, endurcissement,
- réduction des stress liés aux pratiques culturales

Sorties environnementales :

- Prévention des pollutions
- veille environnementale (prédiction des conditions à risques)

Représentation graphique des composantes du projet



Premières conclusions et hypothèses à valider

Les mortalités sont associées à :

- un effet familial (origine génétique?)
- A une température supérieure à 19°C
- A une fenêtre spécifique dans le cycle reproducteur
- A l'intensité de l'effort de reproduction (effet âge)
- A la présence de pathogène opportunistes

L'association de ces facteurs de risque semble nécessaire mais pas toujours suffisante et pourrait conduire à :

- Un affaiblissement du système de défenses
- Qui serait amplifié par les conditions environnementales (conditions trophiques, stress, pollution?…)
- Augmentant ainsi la probabilité d'infection par des pathogènes opportunistes dont la croissance et la pathogénicité pourrait aussi dépendre de conditions environnementales.

Stratégie d'approche du problème

- Approche multidisciplinaire
  15 laboratoires dans 6 disciplines : Physio, Immuno, Patho, Ecotoxico, Ecologie, Epidémio
- association avec les structures techniques des régions et départements, avec les professionnels écloseurs-nurseurs, producteurs
- régions sollicitées en Partenariat
  Normandie, Bretagne, Pays de Loire, Poitou-Charentes, Aquitaine

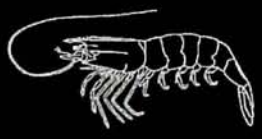
Le Partenariat du projet

ANNEXE 3

Le programme DEMOS, Défi Mortalité Stylirostris en Nouvelle-Calédonie

H. LEMONNIER

Défi Mortalités Stylirostris



1

Une filière en croissance
Extension des surfaces (2002)

LAC-RAD 2

Techniques d'élevage et typologie des exploitations

Intensif

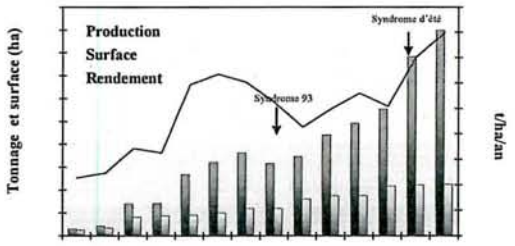
Semi-intensif

Pénéide de Ouano : 29 ha

La Sodacal : 130 ha

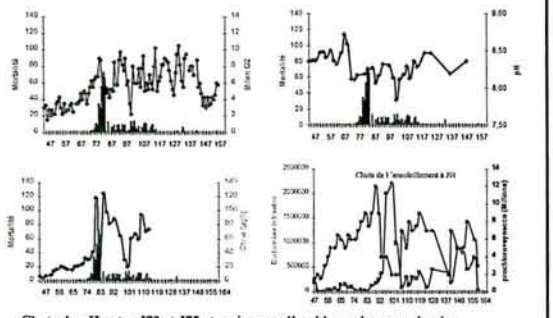
LAC-RAD 3

Surfaces exploitées, productions annuelles et rendements de l'aquaculture crevettes en Nouvelle-Calédonie.



LAC-RAD Ifremer 4

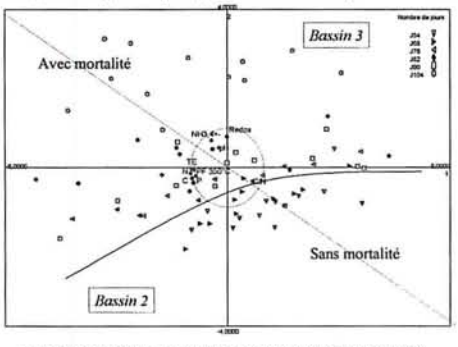
Suivi du bassin 1 saison 2000 - 2001



Chute du pH entre J72 et J75 et croissance d'un bloom de cyanophycées
Mortalité longue de J73 à J121: 4 pics successifs

LAC-RAD 5

Analyse en composantes principales : Évolution de la qualité du sédiment



Plan factoriel 1 - 2 de l'ACP menée sur 9 variables et sur 72 individus (73% de la variabilité totale)

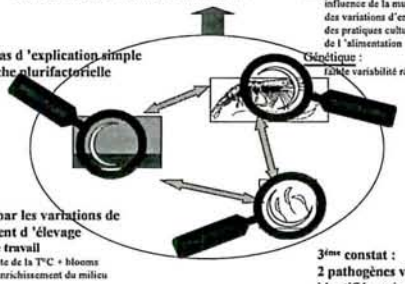
LAC-RAD 6

Des constats *pour guider la recherche*

5ème constat : besoin de sortir de la crise
Pratiques élevage, Génétique, alimentation

4ème constat : l'animal
Physiologie et immunité :
influence de la mue,
des variations d'environnement,
des pratiques culturales,
de l 'alimentation
Génétique :
faible variabilité résiduelle

1er constat : pas d 'explication simple
= approche plurifactorielle



2ème constat :
Stress induit par les variations de l'environnement d 'élevage
2 hypothèses de travail
Syndrome 93 - chute de la T°C + blooms
Syndrome d'été - enrichissement du milieu

3ème constat :
2 pathogènes virulents identifiés mais...

LAC-RAD 7

Démos

Structuration générale

5 Work Packages transversaux + Organisation

1- Mise au point et optimisation d'outils et méthodes
2- Caractérisation des phénomènes *in situ*
3- Étude expérimentale des hypothèses explicatives
4- Sortir de la crise : *les solutions potentielles*
5- Outils de communication et diffusion des résultats
6- Gestion et Organisation du projet

LAC-RAD 8

Démos

WP 1- Mise au point et optimisation d 'outils et méthodes

TACHES

- Calibrer et standardiser les techniques d 'infection expérimentales
- Nouveaux descripteurs de l'état physiologique et immunologique des crevettes
  - mise au point, validation d'outils en physiologie et en immunologie
  - calibration des outils pour la nutrition
  - recherche de nouveaux effecteurs physiologiques et immunologiques
- Mise au point d 'une zootechnie appliquée à la génétique

LAC-RAD 9

Démos

WP 2 - Caractérisation du phénomène in situ

Deux tâches

Des sites atelier pour chaque mortalité
- *Syndrome d 'été* : SeaFarm et Pénéide de Ouano
- *Syndrome 93* : bassin H du LAC + témoin ?

LAC-RAD 10

Démos

WP 3 - Étude expérimentale des hypothèses

- **Moyens** : **In situ** : cages et enclos, bassins
  En laboratoire : bacs expérimentaux thermorégulés, salle d'infection expérimentale, dispositifs spécifiques, microcosmes en bacs extérieurs
- **Objectifs** : réponses immédiates ou différées de l'hôte et des pathogènes aux variations qualitatives et quantitatives du milieu
  Effet paramètres de l'environnement y compris pratiques culturales
  Effet pathogène
  Effet paramètres nutritionnels
  Effet génétique (effet sang neuf)
- **Méthodes d'estimation**
  Réponse physio-immuno ; métabolique
  Réponse aux tests d'infection
  Analyses biochimiques, bactériologie, biologie moléculaire, histopathologie
  // au suivi de l 'environnement du milieu

LAC-RAD 11

Démos

WP 3 - Étude expérimentale des hypothèses

- *Virulence des pathogènes*
  - banque de bactéries pathogènes
  - support génétique de la virulence
  - organisation du genome de souches pathogènes
  - épidemiologie des gènes de virulence
  - pathogenie, dynamique d 'infection, latence
  - conditions d'expression de la virulence et de la croissance
- *Interactions entre paramètres environnementaux et crevette*
  - quantification des processus relatifs au système bassin d'élevage favorisant ou déclenchant les mortalités
  - effet environnement sur Physiologie et immunité de la crevette En eau claire ou mésocosme (avec ou sans sédiment) [illegible] niveau trophique réseau naturel/artificiel *(décrochage paramètres environnementaux/physiologiques)*
- *Bases génétiques du caractère de sensibilité des crevettes*
  - recherche de la variabilité individuelle ou familiale de la résistance sur souche Calédonienne, puis souche introduite, puis sur leur croisement

LAC-RAD 12

Démos

WP 4 - Sortir de la crise *recherche de solutions potentielles*

- ***Pratiques culturales et gestion du bassin***
  effet de l'alimentation - *dopage des proies vivantes en saison froide,*
  - aliments fonctionnels de saison froide: enclos, bassin
  gestion du milieu d'élevage pour éviter les conditions favorisantes ou déclenchant - *densité, renouvellement, fertilisants, aération*
- ***Génétique***
  - gestion variabilité résiduelle de la souche Calédonienne
  - importation de sang neuf
  - sélection pour résistance aux stress et à l'infection aux vibrios
  - tests in situ
- ***Évaluation des risques de mortalité en élevage***
  - synthèse des différents facteurs de risque à partir des résultats des WP 2 et 3
  - analyse des données environnementales & culturales « historiques »
  - mise en place d'une base de données de suivi et diagnostic des « fermes »
    (recueil, gestion et traitement des données, instrumentation des sites)

Démos

WP 5 - Outils de communication *et de* diffusion des résultats

- Établissement de synergies entre laboratoires et optimisation des échanges entre participants : *site web, communication mail,*
- Gestion de données : *métabase de données DEMOS*
- Coordination

- Un séminaire à Nouméa en mai 2003
- Restitution des résultats à la profession
- Un séminaire en métropole en 2005

Démos

WP 6 - Gestion Organisation du projet

- Une mise en œuvre opérationnelle sous la responsabilité du chef de laboratoire
- Un responsable scientifique du projet
- Des responsables de tâches, avec mandat clairement défini
- Des correspondants identifiés par thématique
- Une connexion avec MOREST a préciser et établir
- Un comité de pilotage
- Gestion budgetaire
- Bilan programmation, rapports et publications
- Évaluation

Démos

Les thématiques mises en oeuvre

- Pathologie
- Immunologie
- Physiologie *comprenant l'influence de la nutrition*
- Environnement *comprenant l'influence des pratiques culturales*
- Génétique

Démos

Les Partenaires

- CREMA
- LAC
- COP
- IMSI
- DRIM
- LGP la Tremblade
- LPI Brest
- Université de Townsville
- GFA
- IRD NC
- Université de Grenoble
- Institut Pasteur NC
- UBO
- UNC
- DAVAR

ANNEXE 4

Capacité trophique et impact de l'aquaculture dans les baies chinoises

C. BACHER

欧盟项目中国海湾养殖容量第一次工作
1st Workshop on EU Project "Carrying Capacity in Chi

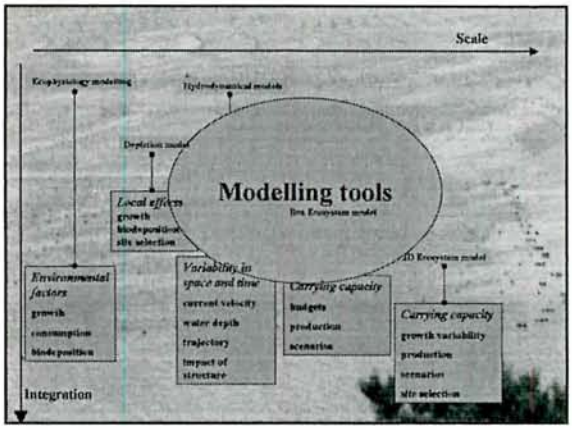
CARRYING CAPACITY & IMPACT OF AQUACULTURE ON THE ENVIRONMENT IN CHINESE BAYS

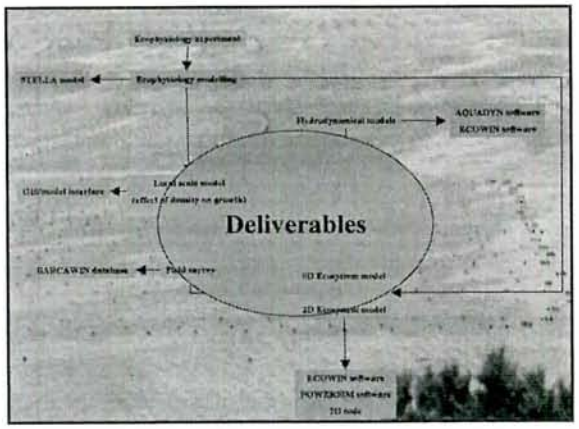
C. Bacher, AJS Hawkins, JG Ferreiro, P. Duarte, J. Grant, M. Zhu, J. Fang, X. Ning

http://tejo.dcea.fct.unl.pt/inco/chi

Objectives

- complete set of models adressing the limitation of growth and production at different scales
- system analysis based on historical and actual harvesting and seeding strategies
- dissemination of data and models and applicability to other sites



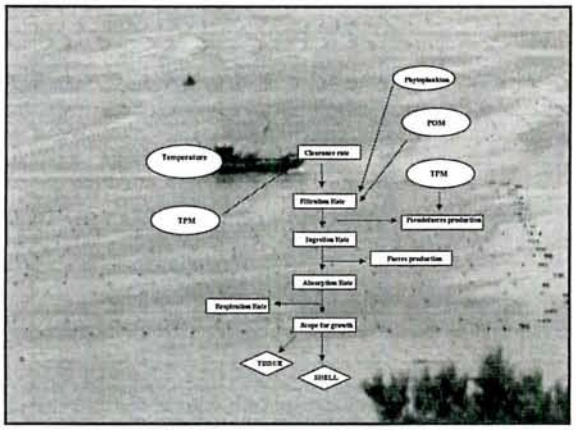


Ecophysiology model: food limitation

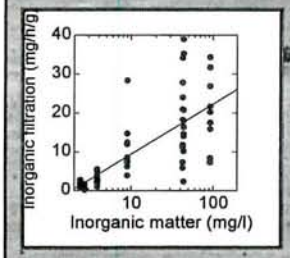
Objective: to assess the environmental factors controlling individual growth and fluxes

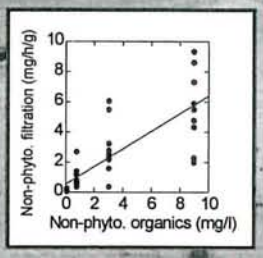
Shellfish experiments

Location	Species	Dates
Sanggou Bay	*Chlamys farreri* *Crassostrea gig* *Mytilus edulis*	May 1999 Aug 1999 Oct 1999
Jiaozhou Bay	*Argopecten irradians* *Chlamys farreri* *Ruditapes philippinarum*	Aug 1999 Oct 1999 April 2000



Determinants of filtration and retention

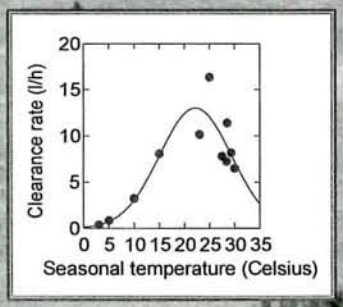




$r^2 = 0.58$, $p<0.001$

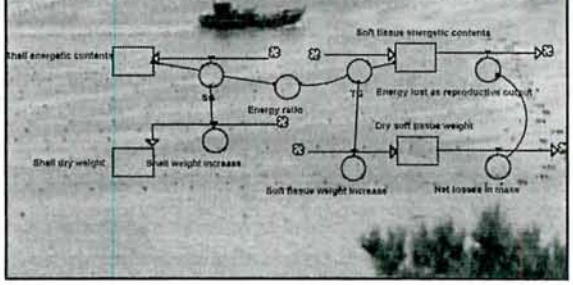
Hawkins et al., 2001

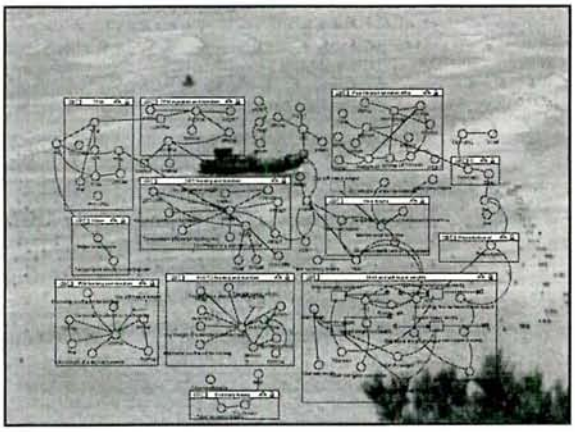
Determinants of filtration and retention

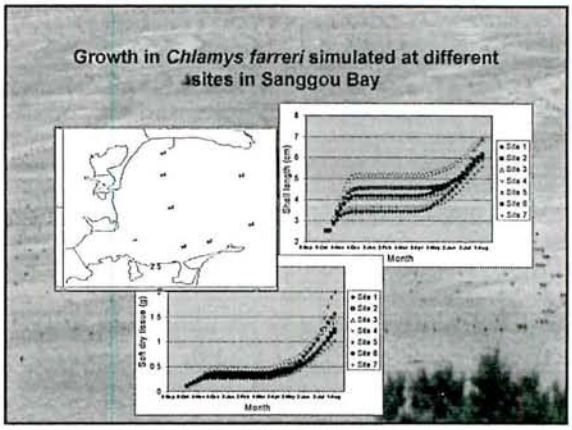


$r^2 = 0.95$, $p<0.001$

STELLA® model simulating shellfish growth from food availability, food composition and water temperature






Growth in *Chlamys farreri* simulated at different sites in Sanggou Bay
Shell length (cm)
Month
Site 1
Site 2
Site 3
Site 4
Site 5
Site 6
Site 7
Soft dry tissue (g)
Month

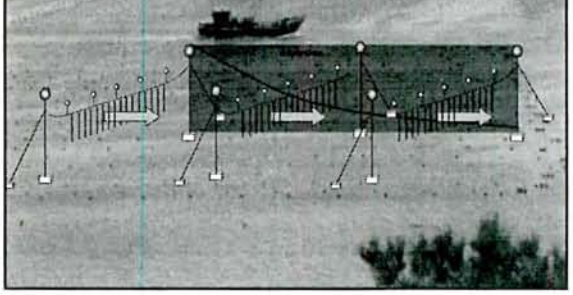
Interactions at local scale

Objective : to couple model of feeding and growth with hydrodynamic mo

- to simulate the e[illegible]ood availability, current velocity and rearing density on growth
- to assess the spatial variability of growth related to food availability an hydrodynamics
- to build an interface (GUI) to help the user in handling model inputs a outputs

Bacher et al., submitted

Food depletion



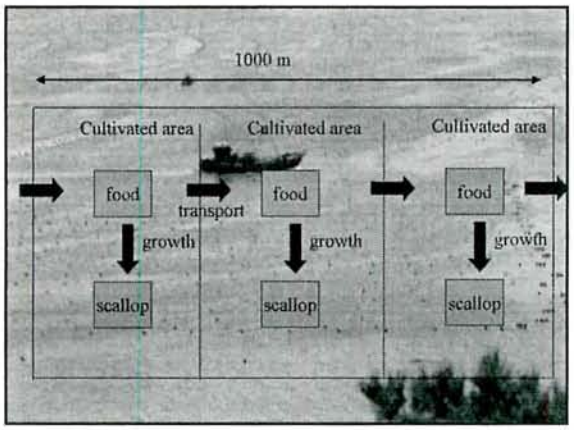
Depletion model

Ecophysiology

Local scale model
(effect of density on growth)

Hydrodynamics

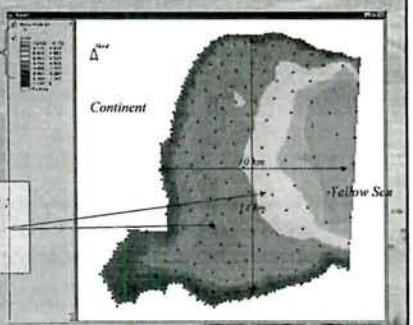
Environmental data (concentration, température)



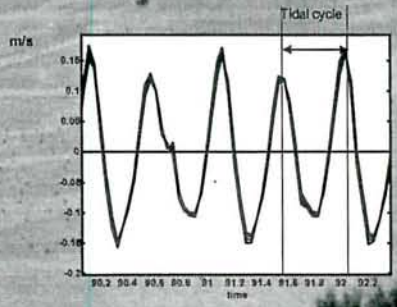
Hydrodynamical model

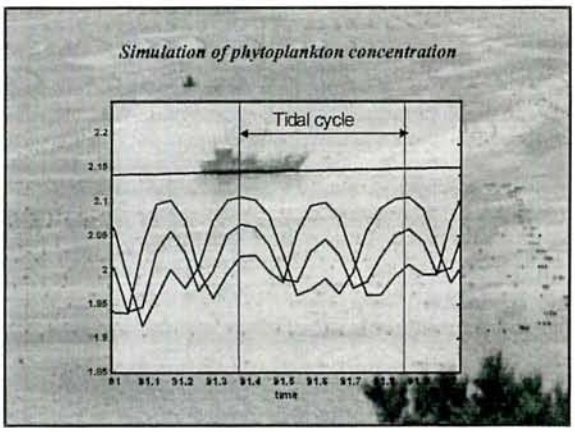
Bathymetry : 0 - 15m

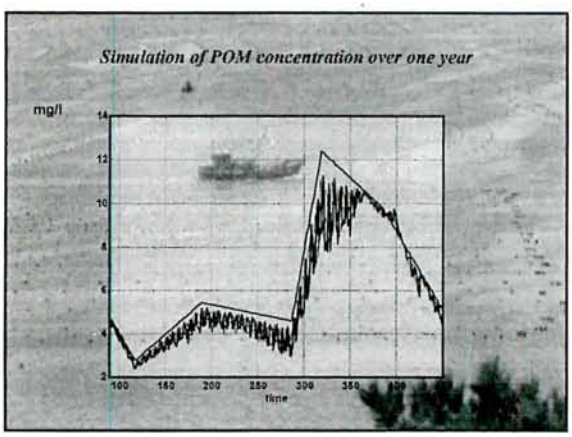
Hydrodynamics : triangular mesh

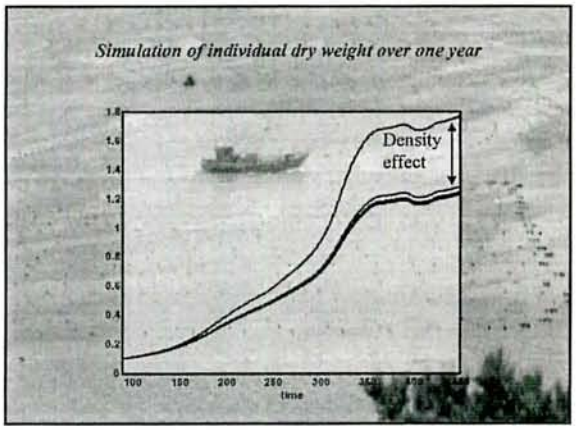


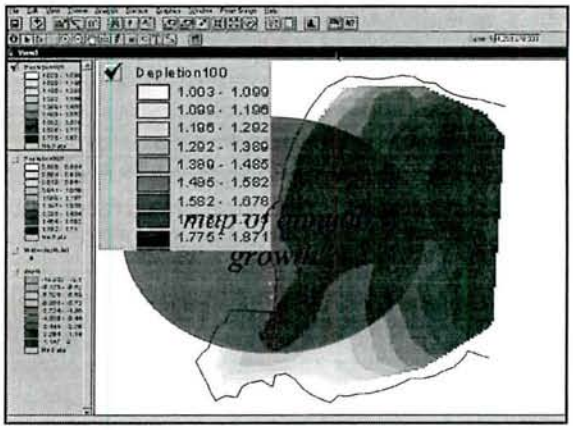
Simulation of current velocity

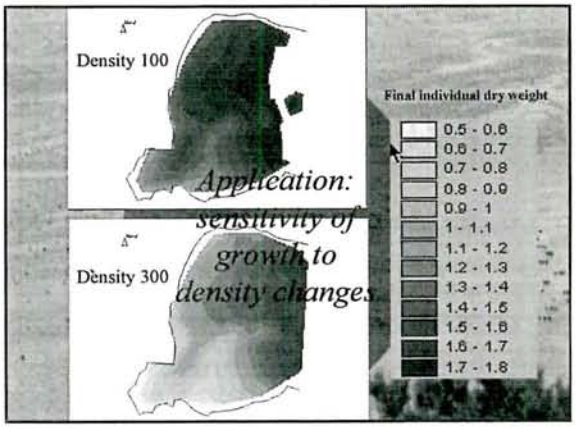


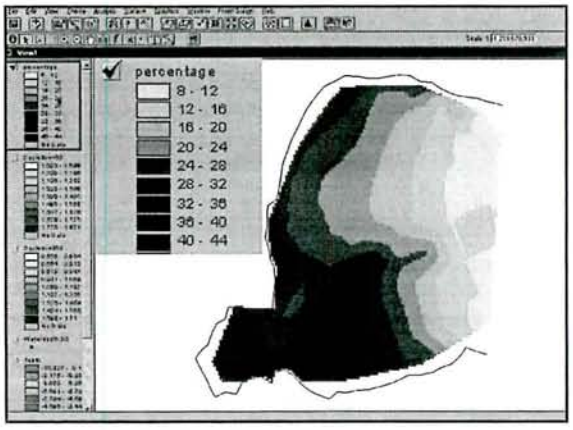

Simulation of phytoplankton concentration
Tidal cycle
time

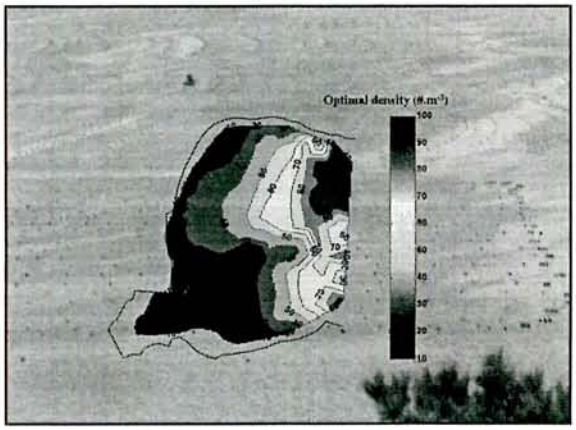

Simulation of POM concentration over one year
mg/l
time

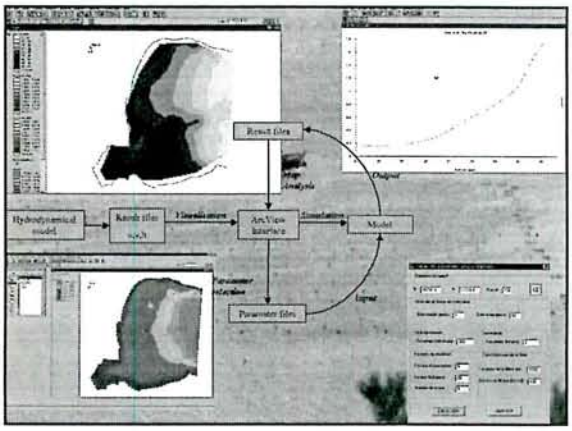

Simulation of individual dry weight over one year
Density effect
time


Depletion100
1.003 - 1.099
1.099 - 1.196
1.196 - 1.292
1.292 - 1.389
1.389 - 1.485
1.485 - 1.582
1.582 - 1.678
1.775 - 1.871


Density 100
Density 300
Application:
sensitivity of
growth to
density changes
Final individual dry weight
0.5 - 0.6
0.6 - 0.7
0.7 - 0.8
0.8 - 0.9
0.9 - 1
1 - 1.1
1.1 - 1.2
1.2 - 1.3
1.3 - 1.4
1.4 - 1.5
1.5 - 1.6
1.6 - 1.7
1.7 - 1.8


percentage
8 - 12
12 - 16
16 - 20
20 - 24
24 - 28
28 - 32
32 - 36
36 - 40
40 - 44


Optimal density (#.m⁻³)
100
90
80
70
60
40
30
20
10

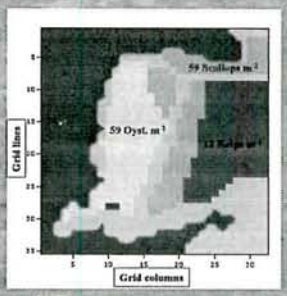

Result files
Hydrodynamical model
Kernfr files
Model
Parameter files
Input

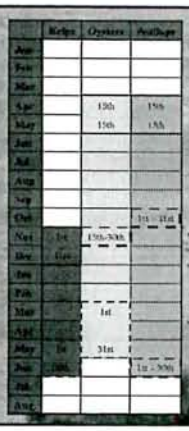
Ecosystem scale

Objective:

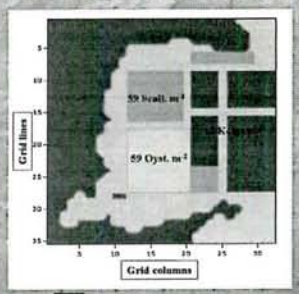
- effect of cultivated species on ecosystems dynamics
- effect of changes of rearing strategies on production
- carrying capacity

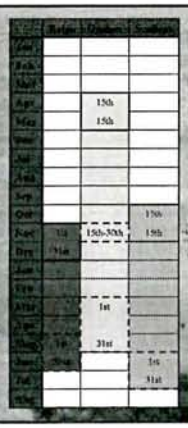
1993-94 Aquaculture scenario

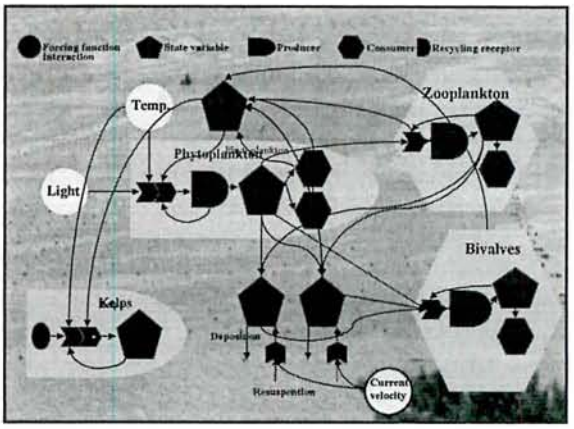




1999-00 Aquaculture scenario



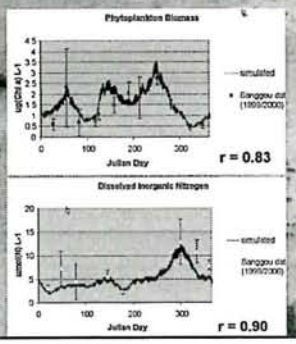




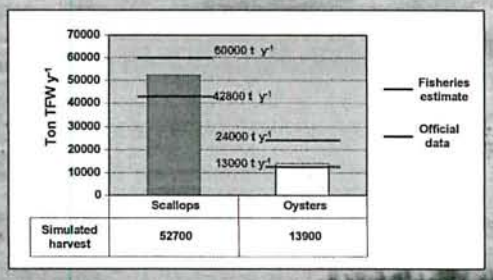
Sanggou Bay Box model – validation

Ferreira et al., submitted

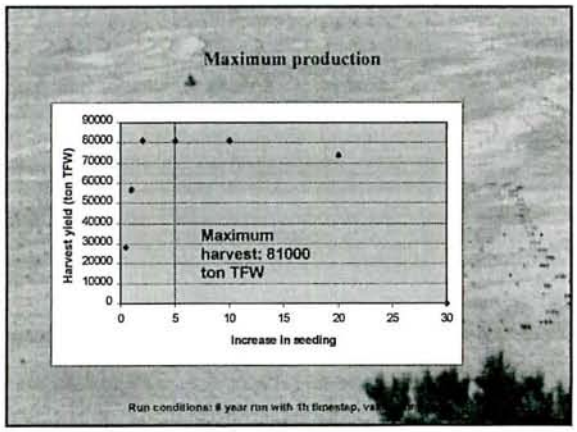
Data source:
1999/2000
campaign

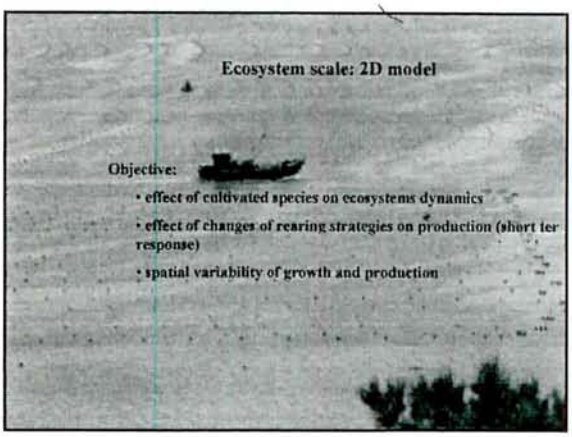


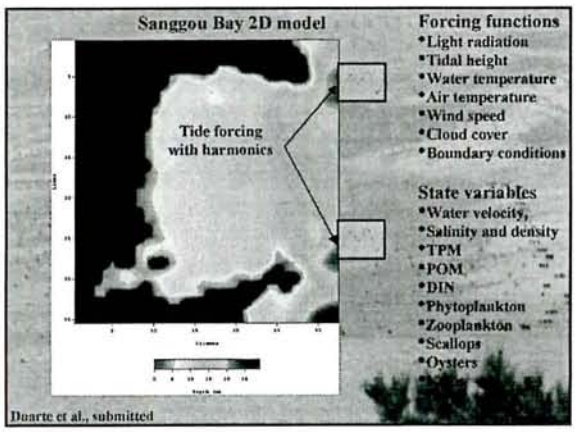
Results for annual scallop and oyster harvest

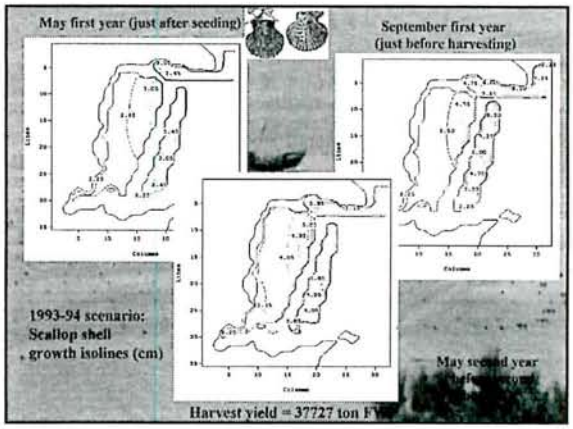


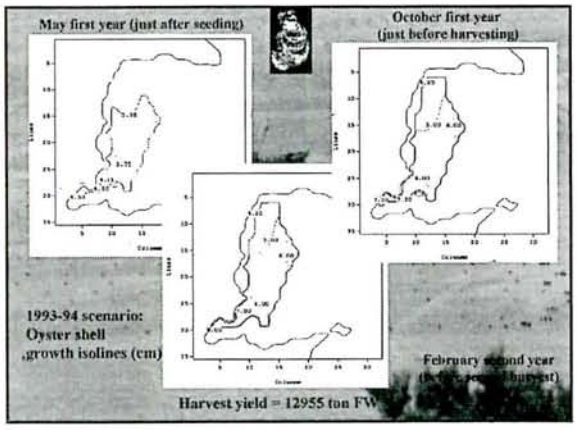
Run conditions: 6 year run with 1h timestep, value[illegible] objects active

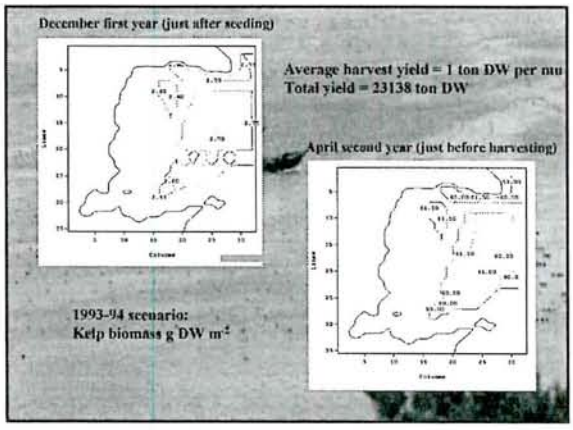

Maximum production
Harvest yield (ton TFW)
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
0
5
10
15
20
25
30
Increase in seeding
Maximum
harvest: 81000
ton TFW


Ecosystem scale: 2D model
Objective:
• effect of cultivated species on ecosystems dynamics
• effect of changes of rearing strategies on production (short ter
response)
• spatial variability of growth and production


Sanggou Bay 2D model
Tide forcing
with harmonics
Forcing functions
•Light radiation
•Tidal height
•Water temperature
•Air temperature
•Wind speed
•Cloud cover
•Boundary conditions
State variables
•Water velocity,
•Salinity and density
•TPM
•POM
•DIN
•Phytoplankton
•Zooplankton
•Scallops
•Oysters
Duarte et al., submitted


May first year (just after seeding)
September first year
(just before harvesting)
1993-94 scenario:
Scallop shell
growth isolines (cm)
May second year
Harvest yield = 37727 ton FW


May first year (just after seeding)
October first year
(just before harvesting)
1993-94 scenario:
Oyster shell
growth isolines (cm)
February second year
Harvest yield = 12955 ton FW


December first year (just after seeding)
Average harvest yield = 1 ton DW per nu
Total yield = 23138 ton DW
April second year (just before harvesting)
1993-94 scenario:
Kelp biomass g DW m-2

Main results
• spatial variability of growth and production important for site selection
• carrying cap (?) reached
• change in rearing strategies yield dramatic change in production (see seeding size, maximum harvestable biomass)
• responses to changes in rearing strategy are different on the short/long term
• effect of the culture technique on the hydrodynamics, which in turn modifies food availability (Grant and Bacher, 200

ANNEX 5

GENESIS : Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for Europeen environments and markets

J. HUSSENOT

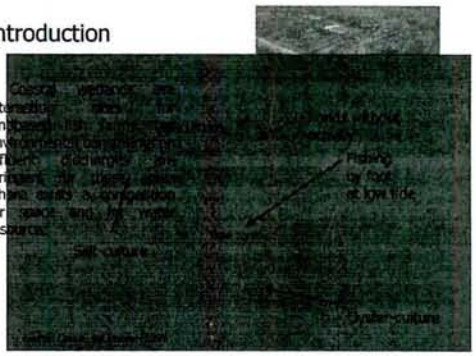
CREMA - L'HOUMEAU

Aquaculture Marine et Systèmes Intégrés pour les Zones Humides côtières de l'Europe

Jérôme HUSSENOT
Centre de Recherche des Ecosystèmes Marins et Aquacoles
IFREMER-CNRS, BP 5 17137 L'Houmeau, France

CREMA - L'HOUMEAU

Introduction



CREMA - L'HOUMEAU

Marine fish-farming in European Atlantic coastal wetlands

- Extensive units **EX-Unit**
- Semi-intensive units **SI-Unit**
- Intensive growout units **IO-Unit**
- Intensive hatchery-nursery units **IH-Unit**

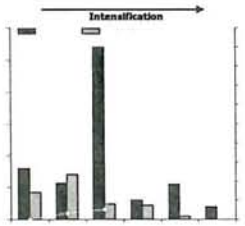
CREMA - L'HOUMEAU

Effluent analysis (M & M)

Parameter	Analytical method
Dissolved organic carbon	UV absorption
Total ammonia nitrogen	Indophenol blue/ auto-analyzer
Nitrite nitrogen	auto-analyzer
Nitrate nitrogen	auto-analyzer
Urea nitrogen	auto-analyzer
Reactive orthophosphate	auto-analyzer
Silicate silicium	auto-analyzer
Chlorophyll a	Acetone extract/ Fluorimetry
Total suspended solid	Whatman GF/C, 1.2µm
Volatile suspended solids	GF/C, 4 hours 450°C

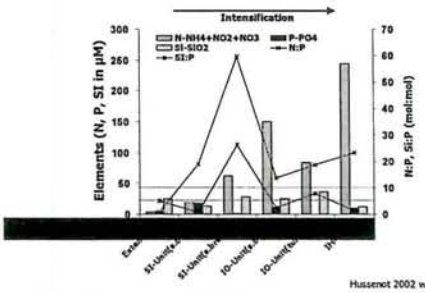
CREMA - L'HOUMEAU

Effluent characteristics (Particular matter)



CREMA - L'HOUMEAU

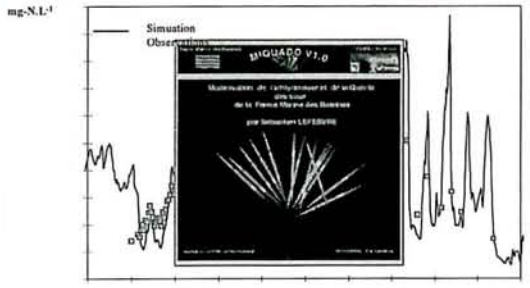
Effluent characteristics (Dissolved matter)



Hussenot 2002 workshop Hawaii

Etude CREMA-Ferme Marine des Baleines 1996-2000

Modélisation de l'azote inorganique dissous



The European Commission
Community Research
Promotion of Innovation and Encouragement of SME Participation

Development of a generic approach to sustainable integrated marine aquaculture for European environments and markets

Project Acronym: **GENESIS**
Project Reference: IPS-2000-00102

The integrated system

- The system consists of three components; fish or shrimps are the nuclear culture species. Its effluents are treated by micro or macro algae biofilters.
- The grown algae are transferred to feed marine herbivores, e.g. shellfish, sea urchins or brine shrimps, which convert the algae low-value by-product into a high-value commodity.

The participants

- 1. IOLR (IL) National Center for Mariculture Coordinator: Dr M. Shpigel
- 2. IFREMER (FR) CREMA-L 'Houmeau, DEL-La Tremblade/Brest
- 3 UNIVERSITY OF STIRLING (Scotland, UK) Institute of Aquaculture
- 4. SEAOR MARINE (IL)
- 5. LLYN AQUACULTURE (Wales, UK)
- 6. CREAA (FR) Centre régional d'Expérimentation et d'application Aquacole
- 7. IDEE (FR)
- 8. ENVIROCENTRE (Scotland, UK)

The French participants

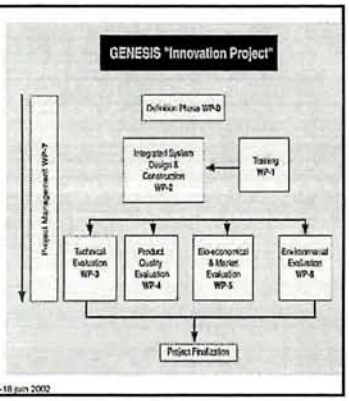
- **IFREMER**
  - **CREMA-L 'Houmeau:** J.Hussenot, J.L.M. Martin, H. Chartois, GTI.
  - **DEL-LT:** O. Courtois and co
  - **DEL-Microbio:** M. Pommepuy and co
  - **ENVN** sub-contractor: H. Le Bris and co
  - **U. of Caen:** S. Lefebvre
- **CREAA:** P. Blachier, D. Mille and co
- **IDEE:** B. Husson and co

The Definition phase (1/07/01-30/12/01)

- Two meetings
- Technical and Economic feasability (first report UoS)
- Detailed work programme
- IPR: Intellectual Propriety Rights
- A visit of all partners' sites by the coordinator
- Contracts for sub-contractors
- Delivrables:
  - Consortium agreement,
  - Final report of the Definition Phase,
  - Construction of specific web pages http://www.genesis.ocean.org.il

The work packages

- WP-0 Definition phase
- WP-1 Training
- WP-2 Design & Construction
- WP-3 Technical Eval.
- WP-4 Product Quality Eval.
- WP-5 Bio-eco & market Eval.
- WP-6 Environmental Eval.
- WP-7 Project management



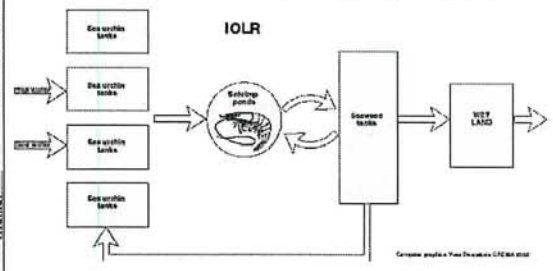
The time schedule

- Total duration: 3 years
- 1st of July 2001: starting
- Definition phase: 6 months
- Implementation phase: 2.5 years
- Ending: 30th of June 2004

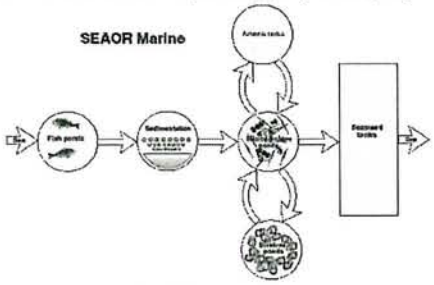
The four prototypes

- Israel : IOLR (Eilat)
- Israel : SeaOr Marine (Tel Aviv)
- UK: Llyn Aquaculture (North Wales)
- France: Creaa-Ifremer (ile d'Oléron)

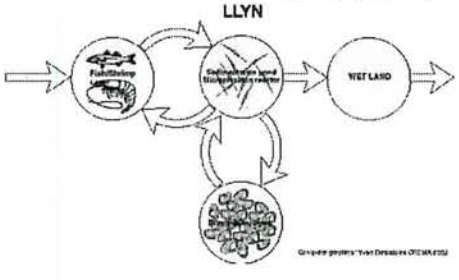
The Warm-water 1 prototype (IOLR, IL)



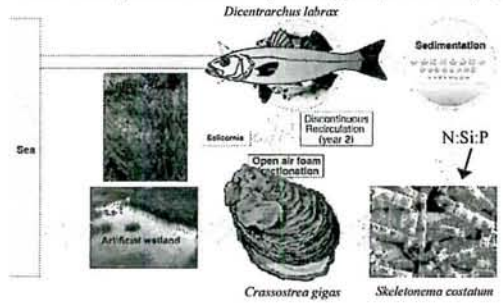
The Warm-water 2 prototype (SeaOr, IL)

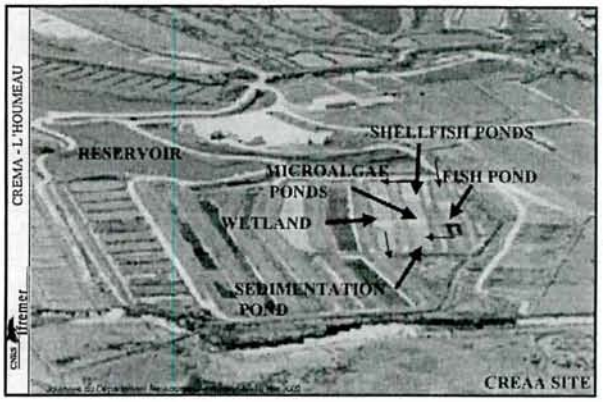


The Cold-water prototype (Llyn, UK)



The Temperate-water prototype (Creaa-Ifremer, FR)





Construction Creaa-Ifremer Prototype

- Fish pond stocking *April 15*
- Construction starting *May 2*
- Construction ending *June 30*
- First year of evaluation *June-November 2002*

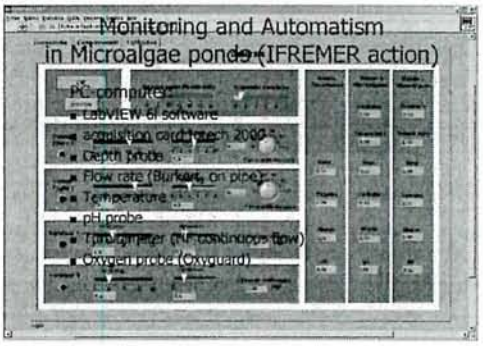
Pond Aquaculture Technology

- A working group « IFREMER-CREAA-IDEE »
- Design and construction of the system
  - to obtain optimal renewal rate in each compartment
  - to optimize dissolved oxygen and nutrients
  - to reduce the energy cost
  - to make easier cleaning and biomass management in the intensive oyster pond
  - to minimize construction costs in earthen ponds

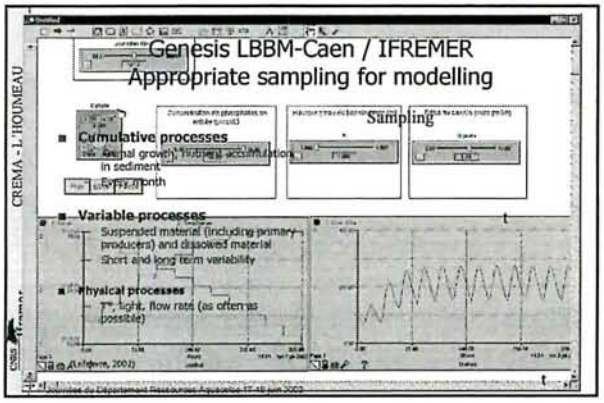
Instrumentation and control system of the microalgal dynamics in phytoplankton reactors

- A working group « IFREMER » (CREMA-L 'Houmeau, U. of Caen)
- Develop a continuous culture system (unit of 150-200 m³)
- Modelling the nutrient budget and the growth (Stella)
- Monitoring hydraulic and water quality (Labview)
- Scrutinize the interest of an automatic water dilution rate regulation (2003)

Monitoring and Automatism in Microalgae ponds (IFREMER action)



Genesis LBBM-Caen / IFREMER
Appropriate sampling for modelling



CREMA - L'HOUMEAU

Genesis ENVN contribution / IFREMER (1)

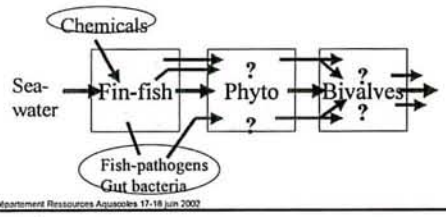
- **Sanitary risks related to integrated systems with a fin-fish production as nuclear culture**
  - Fate (contamination, bio-accumulation...) in cultured bivalves of chemicals (disinfectants, antibacterial and antiparasitic drugs, anaesthetics...) used in fin-fish production...
  - Transmission of fin-fish pathogens to 1) bivalves 2) human consumers...(if a disease appears)
  - Contribution of fin-fish production to the bacterial content and development of sea-water and bivalves...

Journées du Département Ressources Aquacoles 17-18 juin 2002

CREMA - L'HOUMEAU

Genesis ENVN contribution / IFREMER (2)

- 2001-2002 Review of chemical and pathological risks for integrated aquaculture systems
- 2002-2003 Experimentation of contamination and decontamination of the antibacterial Flumequin in the French Genesis prototype



Journées du Département Ressources Aquacoles 17-18 juin 2002

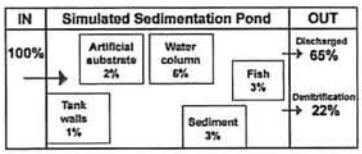
CREMA - L'HOUMEAU

Journées du Département Ressources Aquacoles 17-18 juin 2002

CREMA - L'HOUMEAU

Application of I. and A.W. systems

- In tropical shrimp culture
  - Oyster culture and (Bivalve Filtration) Jones et al., 2002
  - Sedimentation pond with artificial substrate and Mullets (Denitrification)



From D. Eder 2002, Nitrogen transformations in simulated prawn farm sedimentation ponds. Aquaculture News issue 19

Journées du Département Ressources Aquacoles 17-18 juin 2002

CREMA - L'HOUMEAU

Conclusion

- Genesis : application et changement d 'échelle d'une recherche « écosystème bassin »
- Importance de la recherche aquacole « écosystémique »
- Importance de l 'instrumentation pour l 'acquisition des données et le pilotage des intrants (taux de dilution des cultures continues, aération)
- Importance de la modélisation dans la conception et le fonctionnement des installations

Journées du Département Ressources Aquacoles 17-18 juin 2002

ANNEXE 6

REPER : Recherche sur les Ecosystèmes des Pertuis charentais

P. GENTIEN

REPER

Recherche sur les **E**cosystèmes des **PER**tuis charentais

L'objet de cet observatoire REPER est d'étudier par une approche multidisciplinaire intégrée, les évolutions de l'écosystème Pertuis Charentais sous l'effet des pratiques d'utilisation du milieu et à plus long terme, des changements naturels dans une optique de gestion durable de la bande côtière.

Principe de Gestion durable

Privilégier l'approche d'un écosystème à l'échelle du paysage plutôt qu'au niveau d'intégration d'une population d'intérêt

CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Forte anthropisation

- Apports côtiers
- Pratiques culturales

Activités

- Conchyliculture
- Halieutique
- Cynégétique
- Touristique

LES PERTUIS CHARENTAIS

CONCHYLICULTURE

45 % commercialisation huîtres

65000 tonnes produites/3000 exploitations/4500 emplois

le maintien de la production et la diversification des pratiques ne peuvent être considérées que dans une approche écosystèmique

PECHE

300 unités de moins de 12 m

700 tonnes d'espèces diverses (dt 50% sole)

la nourricerie la plus importante du GdG en termes d'individus

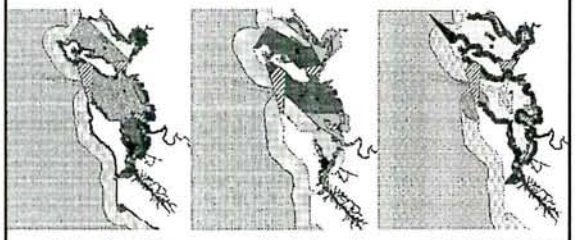
la gestion de ces activités implique d'aborder le fonctionnement des nourriceries, l'adaptation des espèces aux forçages, l'évolution des communautés et leurs interactions avec la conchyliculture

BASES RÉGLEMENTAIRES

- Directives eau
- prévention des pollutions (loi « littoral » , SAGE, SDAGE, SMVM
- textes de protection de la faune et flore
  ZNIEFF, ZICO, ZPS, NATURA

Un espace complexe aux contraintes multiples

Exemple de contraintes appliquées à trois types de pêche au chalut



Chalut à anguille **Chalut à perche** **Chalut à poisson**

⇒ Nécessité d 'une approche globale

APPROCHE

Dans cet écosystème fortement adapté par l 'homme, on ne peut dissocier Environnement, Ressources et Exploitation

SYSTEME COMPLEXE - DIVERSITE D 'ECHELLES

⇨ Obs. variables diff. échelles de temps caractér.

⇨ Etude des interactions

LES PARTENAIRES

- CREMA (IFREMER- CNRS);
- LGP (IFREMER)
- LBEM (ULR)
- CEBC (CNRS)
- TEIR (Univ. Poitiers)
- RH (IFREMER)
- DEL-LR (IFREMER)
- DEL-LT (IFREMER)
- DRV-RA-LT(IFREMER)
- IFREE-ORE (Région Poitou-Charentes)

Appuyées sur les réseaux existants (RNO, REMI, REPHY, REPAMO, SIH, LPO, SBCO, ORE, CQEL)

Cinq actions de recherche interconnectées :

- QUALITE DE L 'EAU
- ECHELON PRIMAIRE
- INVERTEBRES
- VERTEBRES
- SOCIO - ECONOMIE

Une action structurante

- INSTRUMENTATION, BASE DE DONNEES, MODELISATION

QUALITÉ DE L 'EAU

organiques, métalliques, microbiologiques, MOD

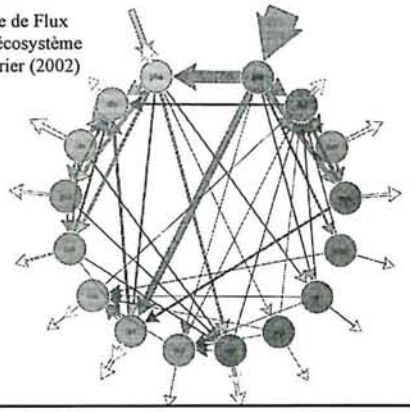
- Ne se borne pas à la lecture des niveaux dans le contexte de la directive EAU
- Impact sur la ressource (taux d 'aneuploïdie et réponse immunitaire influant sur taux de croissance et survie, par ex.)
- Rôle de la MOD en facteur structurant des communautés planctoniques

ECHELON PRIMAIRE

- Variabilité spatio- temporelle de la production primaire - évolution à long terme

  peu de données spatiales / pas d 'estimation en milieu turbide
- Facteurs principaux contrôlant les flux trophiques - Echelles spatiales
  - 1ére étape : diagnostic modèle à l 'équilibre
  - but : modèle dynamique

Modèle de Flux dans l 'écosystème Le Guerrier (2002)



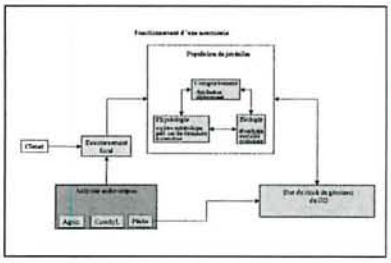
INVERTEBRES

- INFLUENCE DES PRATIQUES SUR LA CAPACITE TROPHIQUE
  - Interactions avec nourriceries
  - Interactions avec faune sauvage
- ESPECES INTRODUITES
  - *Martellia, Bonamia, Crepidula, Ocinebrellus*
  - Base Marinpertuis

VERTEBRES

- SOLE
  - Intégration de physiologie dans le contexte environnemental
  - Interaction conchyliculture - pêche(bio-dépôts, parasitoses)
  - Validation terrain (croissance)
  - Indices d 'abondance et fréquentation
  - Débarquements
  - Etude socio-économiques
- AVIFAUNE
  - impacts des limicoles et bernaches sur les invertébrés et plantes? Flux nutritifs, contaminants

Représentation des interactions et forçages intervenant dans le fonctionnement d'une nourricerie.



DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES

- Quelles sont les spécificités de la zone en termes d'activité, de production et de gestion?
- Quelles sont les chaînes socio-économiques identifiables dans le domaine de la conchyliculture?

ACTION STRUCTURANTE

- Séries temporelles (acquisitions différenciées)
- Base de données
- Modélisation opérationnelle : (capacité trophique)
- Modélisation de processus: (prod.prim. milieu turbide; modèle métabolique, dynam. Parasites, etc ..)

ANNEXE 7

Projet GAMBAS

(Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture Shrimps)

J. L. MARTIN

GAMBAS

(Global Assessment of Mekong Brackish Aquaculture of Shrimps)

OBSERVATIONS

- Très grande hétérogénéité (spatiale et temporelle) de la production de crevettes dans le Delta du Mékong

- Province de Travinh plus productive que Province de Camau

- Essais d'intensification ont tous tourné au fiasco dans ces deux provinces

- Seul l'extensif pur ou, par endroit l'extensif +, est "opérable"

- Espèce *Penaeus mergensis* plus facilement produite que *P. monodon*

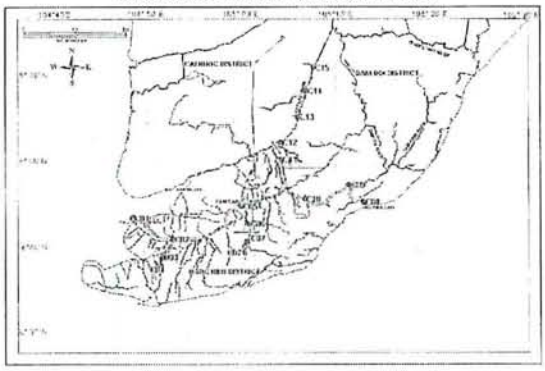
GAMBAS

L'objectif du programme, est de déterminer les indicateurs écologiques aquatiques (mais aussi terrestres = mangrove, nature des sols) du positionnement optimal de l'aquaculture dans l'écosystème Delta.

(Ceci passe par la description de(s) écosystème(s) abritant l'activité aquacole)

Southern Viet Nam: Mekong Delta

INVESTIGATED STATION MAP OF CA MAU PROVINCE REGION



INVESTIGATED STATION MAP OF TRA VINH PROVINCE REGION

THE MEKONG DELTA = spécificity (regarding auaculture)

A very special biological and ecological environement

Huge discharge of detritic organic matter
High seasonal variations of salinity
Highly distrophic environement (high concentrations of heterothrophic bacterias)
Hétérogeneity of aquatic ecosystems
Huge space and time fluctuations

A very unsteady physical environement

Wrenching areas
Sediment accumulation areas

Impact on aquaculture

Reared species adapted to the environnement
Dystrophic environement = limitation of production
Post-larves supply
Export of production

Les paramètres de caractère écologique:
- paramètres liés au confinement et à l'énergie du site

Les paramètres zootechniques et structurels:

- Nature des élevages : extensif ou extensif + (Stocking, feed pellets…)
- Latence entre deux renouvellements d'eau (gravitation, liés aux marées, marnage, expression de la production primaire…)
- Surface de bassins gérés par une famille
- Profondeur des bassins
- Nombre de portes
- Taille et configuration des bassins
- Association « nursery » grossissement
- Si extensif +, origine des larves…
- Bassins « désensédimentés »
- Perméabilité des bassins
- Association avec la mangrove
- Nature des sols
- ……

Les paramètres socio-économiques

- Surface de bassins gérés par une famille
- Niveau d'éducation
- Existence d'une cellule de conseil
- formation permanente
- gestion collective (ou non) du management
-

OBJECTIF GLOBAL

Évaluer le poids respectif de chacun des paramètres ou des grands groupes de paramètre dans chacune de ces trois catégories de paramètres pour des fermes ou des groupes de fermes présentant la plus large diversité possible en terme d'environnement, de zootechnie, de socio-économie)

OBJECTIF SPECIFIQUE « ECOLOGIE »

Déterminer les indicateurs écologiques aquatiques (mais aussi terrestres = mangrove, nature des sols) du positionnement optimal de l'aquaculture dans l'écosystème delta.

Phase 1 = description (spatio-temporelle) des écosystèmes

Phase 2 = relation production et intensité des indicateurs (écologiques et autres)

LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

- Paramètres environnementaux « aquatiques » liés à l'énergie du site (confinement, oxygénation…), aux apports de matière organique, à l'influence du fleuve

- Eau : Salinité (preferendum salin des crevettes), O2, pH, MES, Chl-a, matière organique, sels nutritifs, production primaire, bactéries hétérotrophes, cyanobactéries, picoplankton, Bactéries sulfato réductrices…

- Sédiment : matières organiques, SRB, granulométrie

- Paramètres écologie terrestre et pédologie

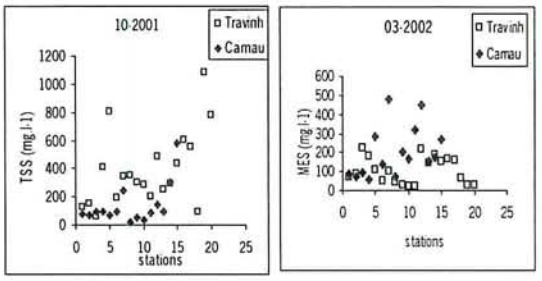
Mangrove, espèces
Nature des sols

- Paramètres géomorphologiques et hydrologiques

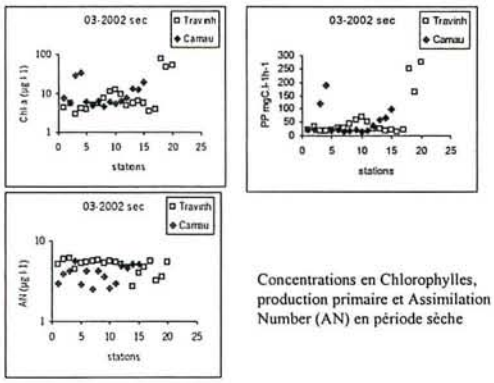
Distance à la mer
Marnage
cross section des voies d'eau…

Site de Camau, site de Travinh

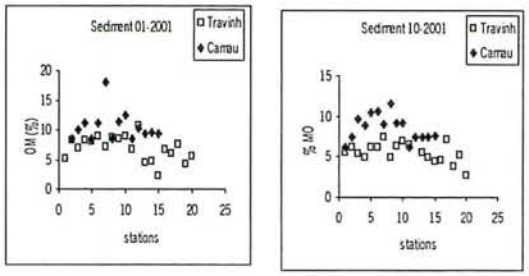
- Systèmes hydrauliques différents
  - ✓ Salinités
  - ✓ apports de sels nutritifs
- Variabilité temporelle supérieure à Travinh
- Région de Camau présente des déficits en oxygène par rapport à Travinh
- Camau = zone de dépôts sédimentaires = concentrations en particules sestoniques minérales plus élevées qu'à Travinh en période sèche (période essentielle de production de crevettes)
- Existence de gradients de la côte vers les stations les plus « confinées » (chl, Production Primaire, SRB,…)
- Région de Travinh apparaît plus homogène que Camau.



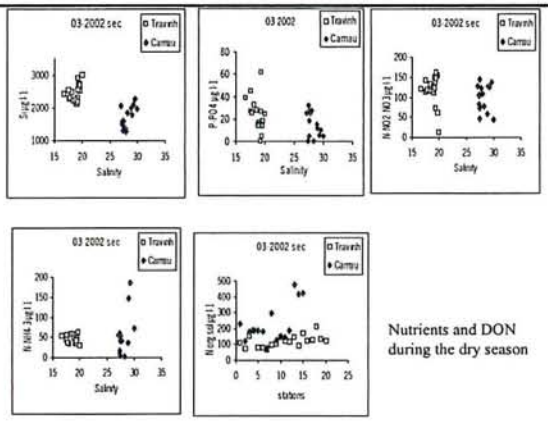
Total Suspended Solids during the dry (10-2001) and the rainy season (03-2002)



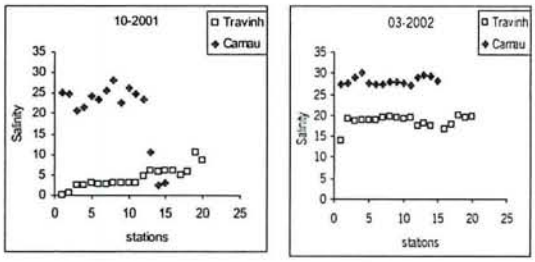
Concentrations en Chlorophylles, production primaire et Assimilation Number (AN) en période sèche



Organic matter in the sediment during rainy (10-2001) and season dry (01-2001).



Nutrients and DON during the dry season



Salinity during the rainy (10-2001) and the dry (03-2002 season)

ANNEXE 8

Etude des systèmes recyclés :

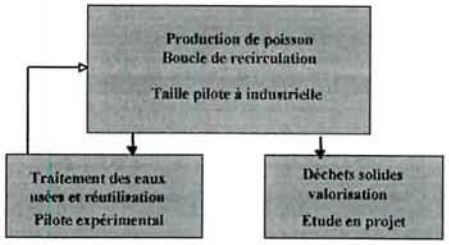
Modélisation et traitement des rejets

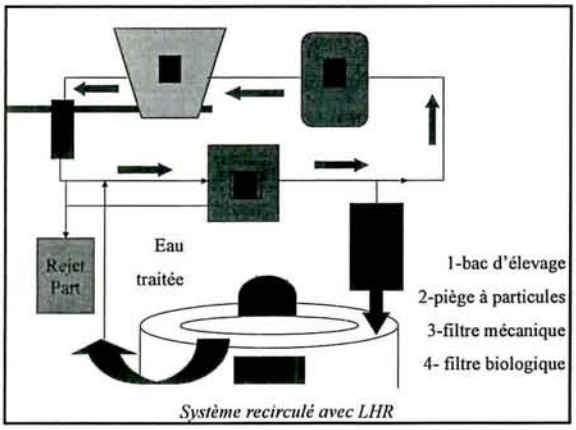
J.P. BLANCHETON

Activités de l 'équipe ASC

- **Évaluation de la tolérance des poissons aux conditions d 'environnement et maîtrise de la qualité de l 'eau,**
- **Maîtrise et contrôle des rejets des poissons et limitation de l 'impact environnemental du système de production,**
- **Conception, calibration et validation d'un modèle global de fonctionnement (expertise et aide à la décision)**

SYSTÈME recirculé





Système recirculé avec LHR

Etude des Matières Particulaires

Thèse de M A Franco Nava

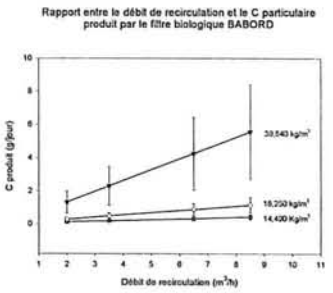
Dans un élevage de bars en système recyclé:

- **Quantifier les flux de carbone et d'azote dans chaque maillon de la chaîne de traitement en fonction (1) du régime hydraulique, (2) des phases d'élevage et (3) de la charge;**
- **Construire un modèle de distribution du carbone et de l'azote et le valider dans des systèmes recyclés de caractéristiques différentes.**

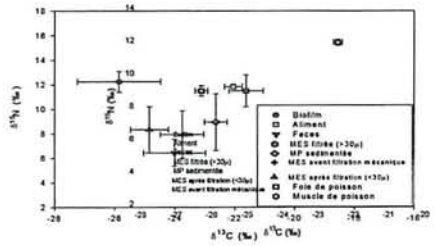
Méthodes analytiques

- **Rapport C/N**
  - Analyseur CHN Carlo Erba NA-1500
- **Rapport isotopique** ($\delta^{13}C/\ \delta^{15}N$)
  - Spectroscopie de masse
- **C et N dissous**
  - Alliance instruments Ev-II
  - Shimadzu TOC-5000

Résultats (Filtre biologique)



Résultats (Analyses isotopiques)



Signature isotopique de la compartiment particulaire dans le système de système de recycle (rotation moyenne sur le pulpe)

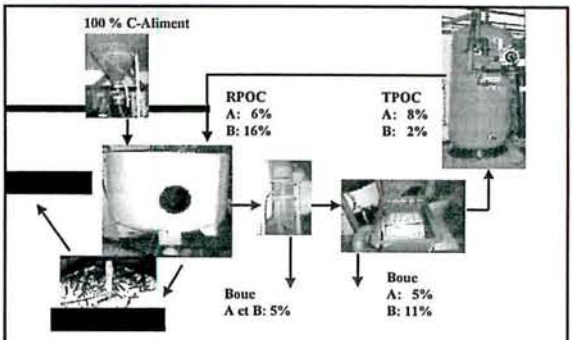


Figure 1. Comparaison entre deux débits:(**A**) 34 et (**B**) 95 $lh^{-1}Kg\text{-}poisson^{-1}$.
RPOC= Carbone organique particulaire recyclé
TPOC= Carbone organique particulaire total

Travail à venir

- Modélisation
  - Construction du « modèle particulaire »
  - Couplage des modèles dissous et particulaire
- Validation
  - Effet d'un aliment modifié pour améliorer l'élimination des fèces

Travail à venir

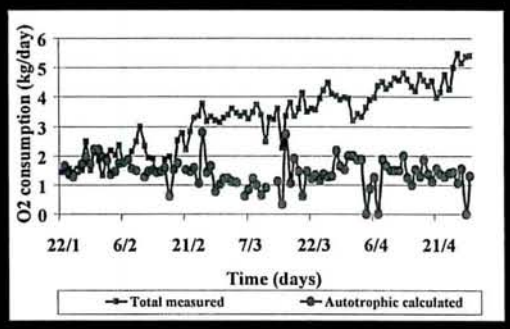
- Traitement et valorisation du rejet particulaire (Projet INCO **AQUA**culture **E**ffluent **TREAT**ment in the **MED**iterranean déposé en mars 2002)

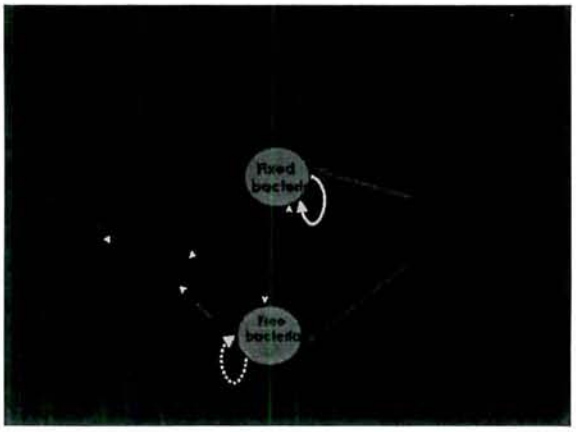
Etude du compartiment bactérien d'un système recyclé

La consommation en oxygène de la flore totale est du même ordre de grandeur que celle des poissons,

Compétition forte des populations autotrophes nitrifiantes avec les populations héterotrophes,

Le carbone organique particulaire est la source principale d'alimentation des hétérotrophes.





Etude des populations bactériennes

Stage L Michaud

- Quantification de l'effet inhibiteur indirect de la matière particulaire sur l'activité nitrifiante,
- Quantification des coefficients de croissance des bactéries hétérotrophes (carbone particulaire et dissous)
- Effet de la matière particulaire sur la structure et la composition des populations hétérotrophes.

Travail à venir

Thèse L Michaud en préparation

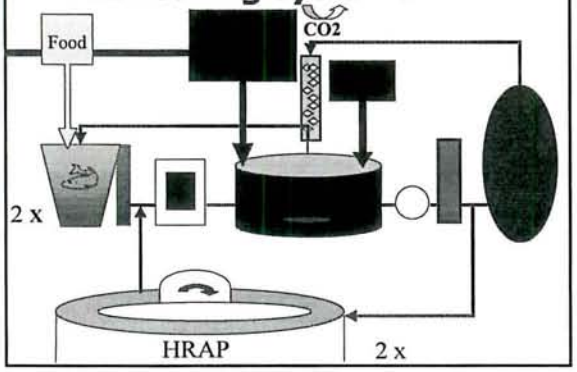
- Calibration et validation du sous modèle bactérien, intégrant les interactions autotrophes – hétérotrophes.

Traitement des rejets dissous par LHRA

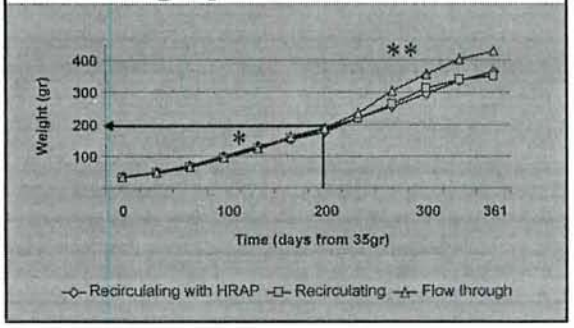
Thèse de G Deviller

- Evaluation de l'effet de l'eau réutilisée, après traitement algal, sur les performances de l'élevage;
- Optimisation de l'efficacité du traîtement algal et modèlisation de son fonctionnement.

The rearing systems



Seabass ongrowing in the rearing systems



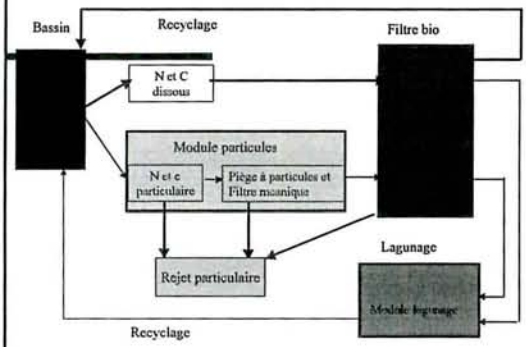
Conclusions

- Water treated by HRAP has no effect on mortality and growth rate of fish,
- From 200 g, the fish growth rate is 15% lower in the two recirculating systems than in the open system,
- The algae stocking density has to be maintained below 0.2 g/l to enhance algae growth,
- Light and temperature seasonal restrictions are responsible of reduced N removal efficiency and algae growth rate.

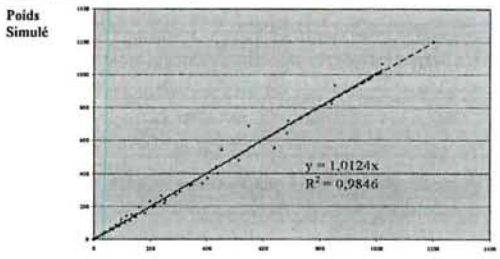
Ongoing research

- Fish eco-physiology: stress parameters, serology and pathogen test (INERIS);
- Fish eco-toxicology: hepatic enzymes and heavy metals in fish flesh (UM1);
- Algae Dissolved Inorganic Carbon, light and temperature limitations;
- Model;
- Other algae species (valorisation).

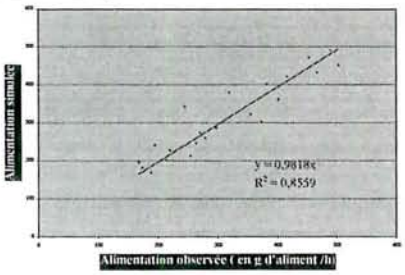
Modèle global de fonctionnement



Comparaison croissance simulée - observée



Comparaison alimentation simulée - Observée



Modèle global de fonctionnement
DEA de B Pomeris

- Calibration et validation des sous-modèles existant (Bassin – poisson, nitrification, premières versions lagunage et bactéries),
- Intégration de ces sous-modèles dans un modèle global.

Travail à venir

E Gasset, projet thèse B Pomeris

- Calibration et validation des sous-modèles en cours d'élaboration,
- Intégration dans un modèle global,
- Validation pour d'autres niveaux thermiques et métaboliques (ombrine, morue, silure...).

ANNEXE 9

Modèles mathématiques en écologie côtière : l'expérience de la DEL

A. MENESGUEN

Modèles mathématiques en écologie côtière: l'expérience de la DEL

Alain Ménesguen
IFREMER/Centre de Brest
Département d'Ecologie Côtière

PLAN

- Les problèmes abordés
- Les outils numériques: EDO versus EDP
- Une application en biogéochimie marine : la Baie de Seine
- Une application en dynamique de populations marines : les bivalves en Manche
- Conclusions

LES PRINCIPALES QUESTIONS EN ENVIRONNEMENT COTIER

- **La productivité naturelle du milieu côtier**
  - Effets des apports croissants (eutrophisation, dérive de flore et faune)
  - Effets de la variabilité climatique
  - Optimisation de l'exploitation (conchyliculture, pêche)
- **Les stratégies démographiques des espèces côtières**
  - Espèces introduites : quelle est leur niche écologique?
    quelle est leur potentialité invasive ?
  - Espèces exploitées : quelle modification des equilibres interspécifiques?
- **La propagation des polluants anthropogéniques**
  - Quelles évolutions dans le réseau trophique? (bioaccumulation, métabolisation)
  - Quel temps de relaxation pour la contamination des ecosystèmes?

Comment la DEL les aborde

- Partir des questions concrètes d'aménagement et viser à émettre des recommandations quantitatives
  ⇒ Rôle crucial des modèles mathématiques intégrant la dynamique de plusieurs compartiments
- Privilegier les aspects concernant l'homme (acteur ou cible) avant ceux ne concernant que l'écosystème
- Se focaliser sur les échelles de temps allant de la journée à la decennie

LES MODELES DE FLUX BIOGEOCHIMIQUES

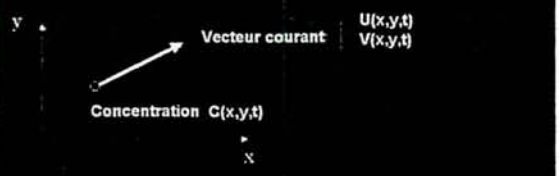
- **Flux de masse** entre compartiments du biotope (eau, sédiment) et du vivant.
- Elements choisis pour leur **rôle crucial** dans le fonctionnement : N,P,Si,O_2
- Couplage avec modèle de **transport hydro-sédimentaire**

LES MODELES DE DYNAMIQUE DES POPULATIONS

- **Flux d'individus** entre classes d'âge
- Couplage avec les modèles de flux par simulation de la **croissance en biomasse**
- Couplage avec modele de **transport hydro-sédimentaire**
  phase larvaire planctonique : transport passif
  phase adulte : migrations pélagiques
  sédentarité benthique

L 'APPROCHE CONTINUE

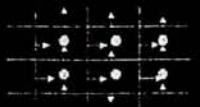
■ L'équation de transport de base:



E.D.P:

Ifremer

■ L'intégration numérique :



- $U_{i,j}$
- $V_{i,j}$
- $C_{i,j}$

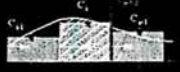


Schéma de Bott

(conservatif et anti-diffusif)

$$C_i \Delta x = \int_{x_i - \Delta x/2}^{x_i + \Delta x/2} \sum_k a_{ik} x^k \, dx$$

Si on note F le nombre de Courant $K_x = U_{moy} \frac{\Delta t}{\Delta x}$

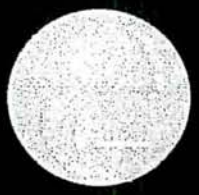
$$F^x = \frac{1}{6} \frac{\Delta x}{\Delta t} \left[(K_x^3 - K_x) \cdot C_{i-1} + (-2K_x^3 + 3K_x^2 + 5K_x) \cdot C_i + (K_x^3 - 3K_x^2 + 2K_x) \cdot C_{i+1} \right]$$

Ifremer

E.D.O et E.D.P de transport : 2 faces d'une même pièce

Dispersion

E.D.O



E.D.P

Advection

Ifremer

Conclusion sur les outils

Indications :	Contre indications :
Variables d 'etat en contact étroit generalisé	Variables d'etat non-miscibles
2 formes chimiques dissoutes	
compartiments physiques co-distribués	
Compartiments spatiaux naturellement mixes	Ecoulements non-dispersifs
Ecoulements plus dispersifs qu'advectifs	
Avantages	**Inconvenients** :
Système hydraulique linéaire, avec solutions	Numériquement dispersif dans le
analytiques et comportement fréquentiel connus	traitement de l'advection
Faible temps de calcul, adapté à la calibration	Difficulté de découpage des « bons »
Nécessite une vision réductrice raisonnée	compartiments

Filtrage passe-bas

Ifremer

Indications :	Contre Indications :
Existence d 'un axe de non-miscibilité	Milieux tres dispersifs
axe spatial à transport surtout convectif	
axe des âges	
Existence de discontinuités aléatoires	Milieux spontanement compartimentés
Problèmes lagrangiens (trajectoires individuelles)	
Avantages	**Inconvénients** :
Numériquement peu dispersif dans le traitement	Long temps de calcul
de l'advection : maintien des fronts	Résultats pléthoriques
Pas de compartimentation a priori	Nécessite un post-traitement réducteur

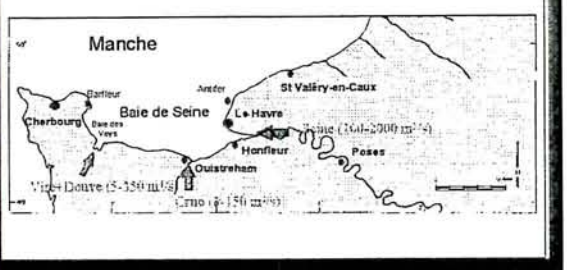
Ifremer

Modélisation du cycle des éléments nutritifs et de la bioaccumulation de PCB en baie de Seine

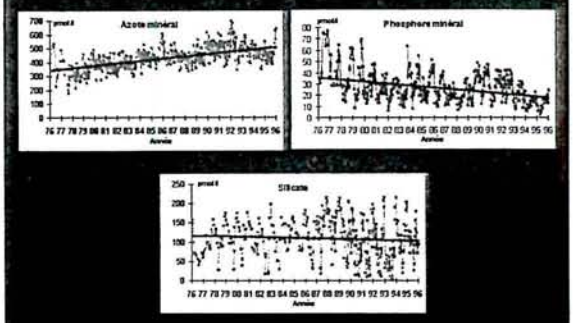
J-F Guillaud, A.Ménesguen, P.Cugier, V.Lazeau

Ifremer

La Baie de Seine



Evolution des apports en sels nutritifs par la Seine



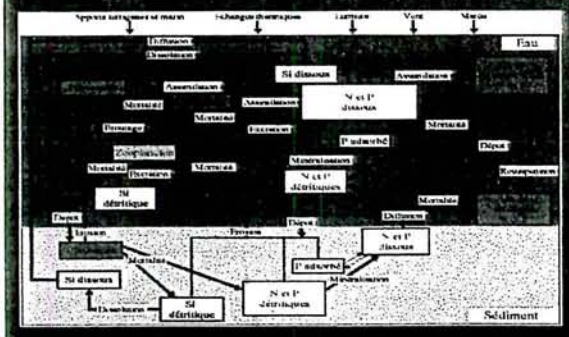
La Baie de Seine, un milieu eutrophisé

- Milieu marin côtier enrichi en nutriments
- Fortes biomasses algales (20, 30 µg/L chloro a) mais pas d'évolution notable sur 20 ans
- Apparition de dinoflagellés toxiques (*Dinophysis cf. acuminata*)
- Pas d'anoxies observées

LES OBJECTIFS

- Etudier le cycle des éléments nutritifs (N, P, Si) et mieux ***comprendre*** comment ils contribuent au contrôle de la production phytoplanctonique en baie de Seine
- Etudier et expliquer les principales caractéristiques de l'écosystème et notamment son évolution au cours des ***20 dernières années***
- Evaluer l'impact de différents ***scénarios de réduction*** des apports en nutriments (N et P), notamment en terme de réduction de la production phytoplanctonique

Schéma conceptuel du modèle biologique

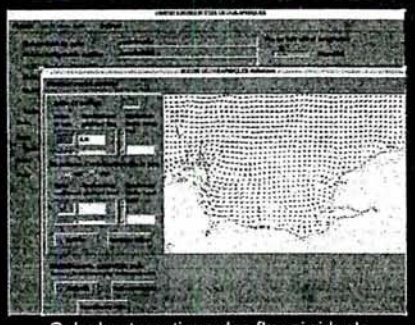


Implantation des compartiments en baie de Seine

Mosaïque horizontale

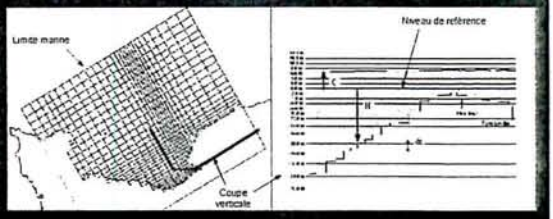
Découpage vertical

Implantation des compartiments en baie de Seine



Calcul automatique des flux résiduels

Implantation du maillage 3D en baie de Seine

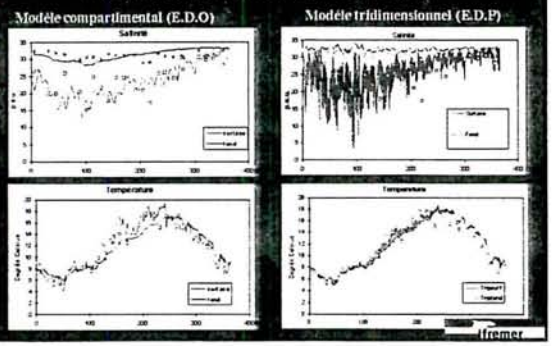


Maillage horizontal

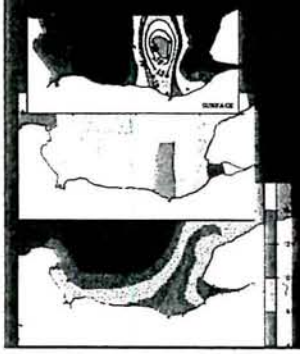
Maillage vertical

Structure hydrologique (Année 1978)

Evolution au point fixe (station RNO2)



Répartition horizontale des blooms (Mai 1978)

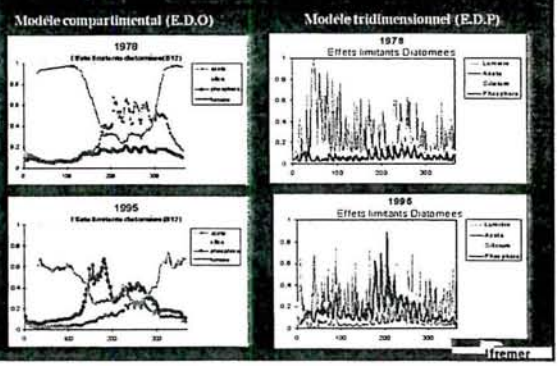


Campagne de mesures

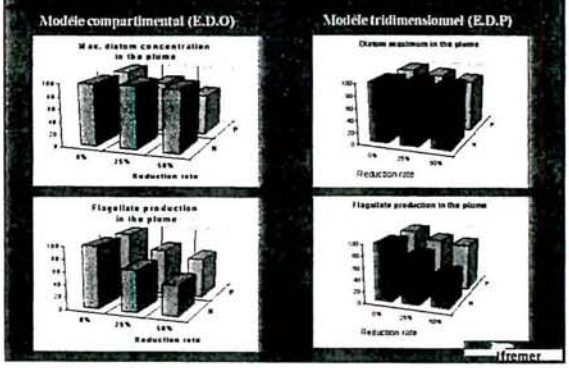
Modèle compartimental

Modèle 3D

Détermination des facteurs limitants



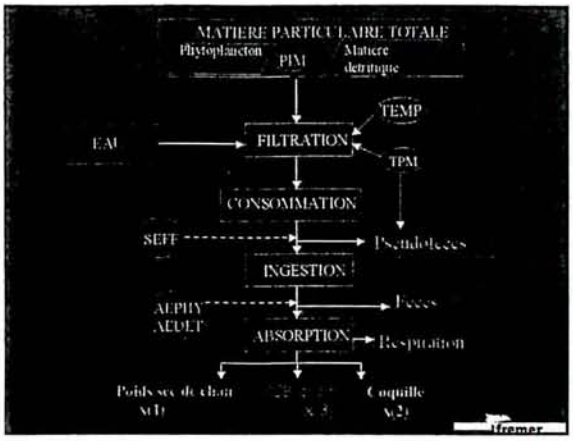
Etude de scénarios de réduction d'apports



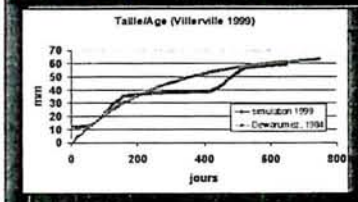
Modélisation des PCB dans les moules en différents sites de la baie de Seine

- Influence de la Seine
- Identification des principales voies de contamination

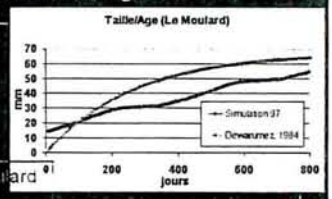
- Adaptation du modèle écophysiologique de la moule (Barillé, 1996) aux moules de la Baie de Seine
- Couplage avec le modèle de bioaccumulation des PCB
- Validation par les mesures RNO



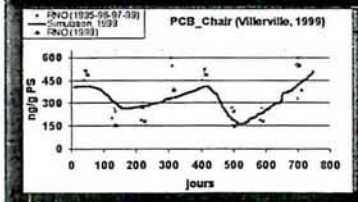
Modèle écophysiologique : relation taille/age



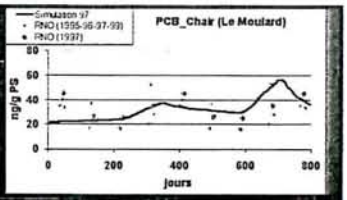
Modèle écophysiologique : relation taille/age

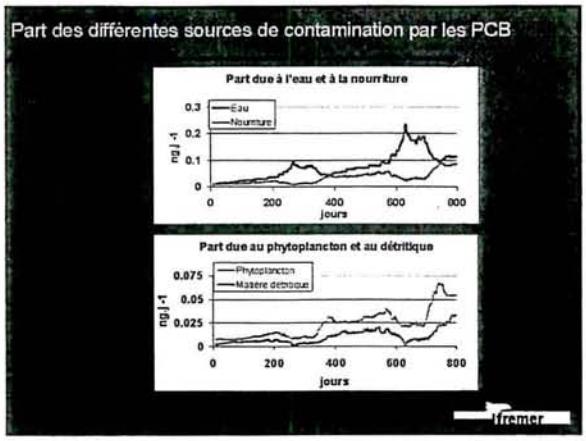


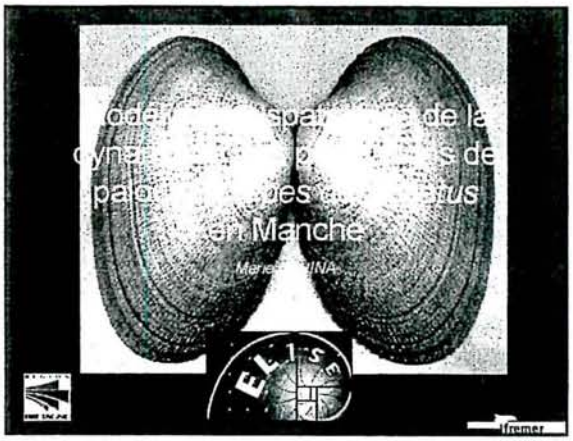
Modèle PCB

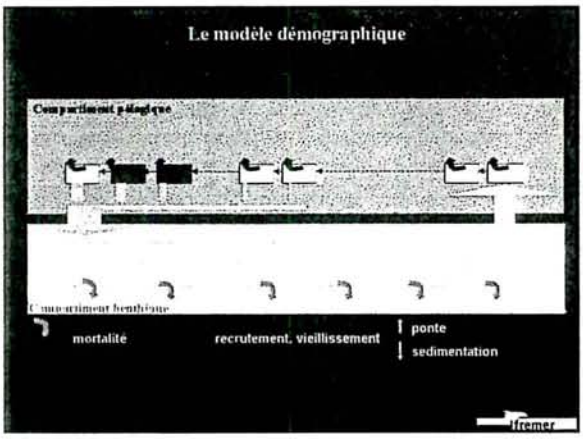


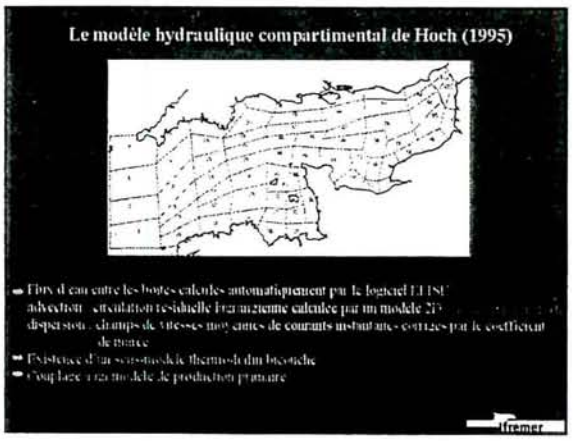
Modèle PCB

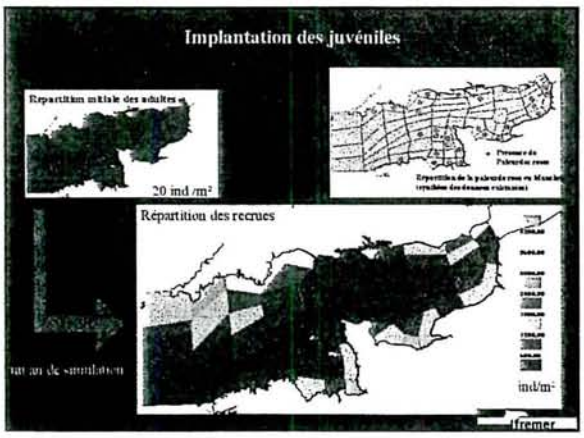


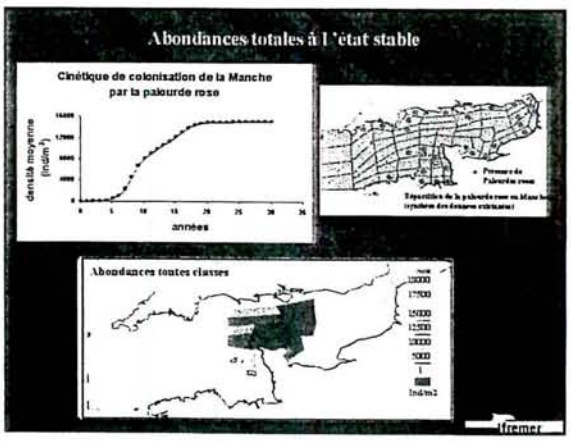

Part des différentes sources de contamination par les PCB
Part due à l'eau et à la nourriture
Eau
Nourriture
ng.j -1
jours
Part due au phytoplancton et au détritique
Phytoplancton
Matière détritique
ng.j -1
jours
Ifremer


en Manche
Ifremer

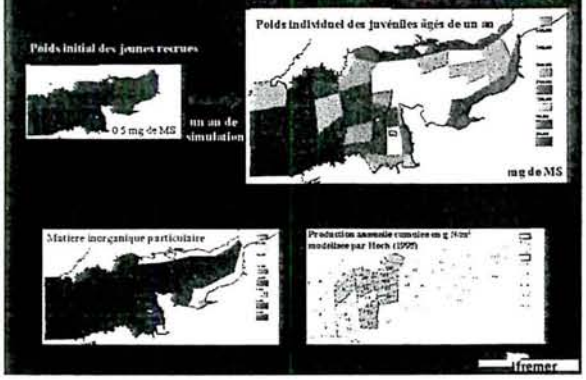

Le modèle démographique
Compartiment pélagique
Compartiment benthique
mortalité
recrutement, vieillissement
ponte
sedimentation
Ifremer


Le modèle hydraulique compartimental de Hoch (1995)
Flux d'eau entre les boites calculés automatiquement par le logiciel ELISE
advection : circulation résiduelle Lagrangienne calculée par un modèle 2D
dispersion : champs de vitesses moyennes de courants instantanés corrigés par le coefficient de marée
Existence d'un sous-modèle thermodynamique
Couplage à un modèle de production primaire
Ifremer


Implantation des juvéniles
Répartition initiale des adultes
20 ind /m²
Répartition des recrues
ind/m²
Ifremer


Abondances totales à l'état stable
Cinétique de colonisation de la Manche par la palourde rose
densité moyenne (ind/m²)
années
Abondances toutes classes
Ifremer

Simulation spatialisée de la croissance individuelle



Ifremer

LES CAPACITES DES MODELES ECOLOGIQUES

- Actuelles
  - Expliquer les grands traits de la répartition spatiale et du cycle saisonnier moyen des grands types algaux
  - Quantifier le rôle des fluctuations météorologiques et des modifications des apports sur la production primaire
  - Simuler la bioaccumulation
- Futures
  - Simuler plus en détail les modifications floristiques
  - Expliquer la constitution des biocénoses benthiques
  - Assimiler des mesures abondantes (images satellitaires)

Ifremer

LES BESOINS DES MODELES

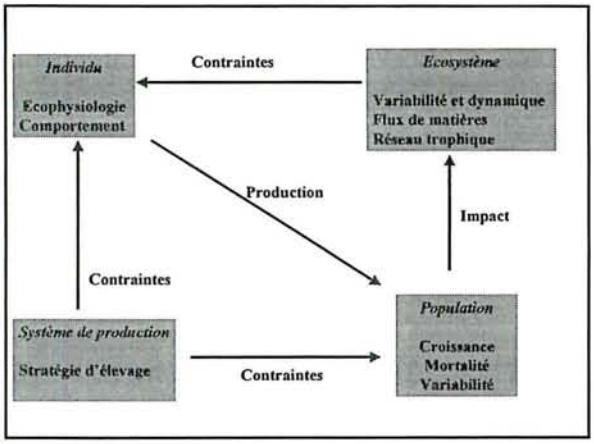
- **Des logiciels multidisciplinaires**
  - Modules chimiques/biologiques modifiables
  - Couplage à des codes de transport variés (1DH, 1DV, 2D, 3D)
  - Interface utilisateur conviviale (saisie et visualisation)
- **Des études de processus expérimentales et *in situ***
  - Expérimentation en milieu controlé
  - Traceurs isotopiques en milieu naturel
- **Des données de terrain abondantes**
  - dans le temps : bouées instrumentées
  - dans l'espace : images de surface satellitaires et aéroportées
    coupes verticales par poisson remorqué ondulant

Ifremer

ANNEXE 10

Modélisation des interactions écosystème/aquaculture

C. BACHER



Quelques exemples

Production

- *croissance individuelle* - huitre (Barillé et al., 1997), nacre (Pouvreau et al., 2001), moule (Grant et Bacher, 1998), bar
- *capacité trophique*=maximiser la production à l 'échelle d ' un écosystème, pour une espèce et une stratégie données : Marennes Oléron (Bacher et al. ,1998), Carlingford Lough (Ferreira et al., 1998)
- *effet de la densité* d 'élevage sur la croissance - Chine (Bacher et al., soumis), Aiguillon
- *production et variabilité* fonction des caractéristiques environnementales et stratégies d 'élevage: étang de Thau - Gangnery et al., 2001
- *variabilité* spatiale de la croissance et de la production : Sungo Bay - Duarte et al., soumis

Quelques exemples (suite)

Impact

- Aquaculture poisson (systèmes ouvert/fermé): estimation des effluents - Lefebvre et al. (2001)
- biodéposition : étang de Thau - Bacher et al. (1997), Chapelle et al. (2000)
- réseau trophique: modifications des flux de matières liées aux filtreurs cultivés: Marennes-Oléron - Leguerrier et al., soumis

Contrainte environnementale

- température des vasières : Pertuis Charentais - Guarini et al. (1997)
- anoxie: étang de Thau (Chapelle et al., 2001)
- anthropisation: contaminants métalliques(thèse Casas, en cours), PCB (Loizeau et al.)

Thermodynamique des vasières

Bioaccumulation

Flux de matières

Impact Aquaculture intensive

Réseau trophique

Déplétion

Dynamique de population

Capacité trophique

Bioaccumulation

Modèle de bioaccumulation des métaux traces chez la moule *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen : application aux données RINBIO

Ifremer

S. Casas, D. Cossa, JL Gonzales, C. Bacher

Problématique

• Usage de **bioindicateurs ou biointégrateurs quantitatifs** concentrant dans ses tissus les contaminants dans un facteur proportionnel à leur biodisponibilité.

- Utilisation de populations indigènes de moules sauvages ou cultivées : **biosurveillance passive** (RNO, « Mussel Watch » américain).

- Utilisation de transplants d'individus provenant d'un site de référence : **biosurveillance active** (RINBIO depuis 1996).

➡ Surveillance, alerte et détection des sources de contamination.

• **Constat** de la bioaccumulation sans tenir compte de la dynamique des transferts des contaminants : concentration à l'instant t.

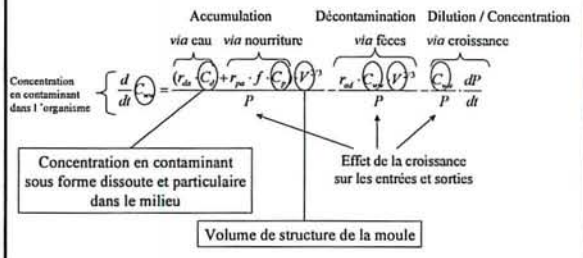
• **Evaluation biaisée** de la contamination des sites.

➡ Intérêt de développer un modèle de bioaccumulation des métaux.

Ifremer

Modèle de bioaccumulation des métaux traces

• Modèle simple de bioaccumulation.

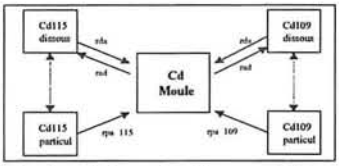


Ifremer

Etude de bioaccumulation du Cd : Borchardt (1983)

• Etude bioaccumulation : influence de nourriture sur les **cinétiques de capture** (0 à 33 jours) et de **perte** (33 à 75 jours) *via* la nourriture et l'eau.

• Utilisation de deux isotopes différents (Cd109 et Cd115) rendant possible la **détection des deux voies d'entrée** (particulaire et dissoute).

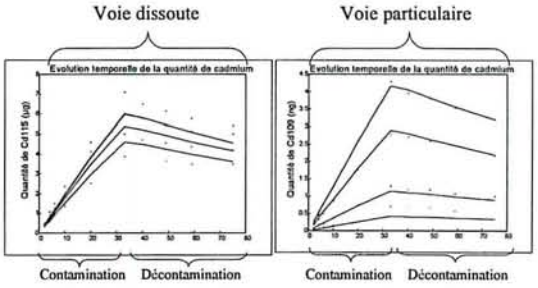


• Etude de la **dynamique des flux** constituant le processus de bioaccumulation :
- entrée : flux dissous et flux particulaire
- flux dilution/concentration selon signe de $\frac{dP}{dt}$
- sorties : flux fèces.

Ifremer

Modèle de bioaccumulation des métaux traces : cas Cd

• Application par optimisation du modèle aux données de suivi de bioaccumulation (Borchardt,1983, 1985).



Modèle de bioaccumulation du Cd : application RINBIO

• Mise en place d'un modèle inverse.

$$\frac{d}{dt}\left(C_w\right) = \frac{\left(r_{da}\cdot C_d + r_{pa}\cdot f\cdot C_t\right)V^{2/3}}{P} - \frac{r_{rd}\cdot C_w\cdot V^{2/3}}{P} - \frac{C_w\cdot dP}{P\cdot dt}$$

Concentration en contaminant dissous dans le milieu

$$C_d = \left(\frac{dC_w}{dt} + \frac{r_{rd}\cdot C_w\cdot V^{2/3}}{P} + \frac{C_w\cdot dP}{P\cdot dt} - \underbrace{\frac{r_{pa}\cdot f\cdot C_t\cdot V^{2/3}}{P}}_{\text{négligé}}\right)\cdot\frac{P}{r_{da}\cdot V^{2/3}}$$

• Etude de la concentration en contaminant dissous dans le milieu en fonction de:
- la concentration en contaminant dans l'organisme bioindicateur
- du poids de l'organisme bioindicateur,
- du volume de structure de l'organisme bioindicateur.

Ifremer

Modèle de bioaccumulation du Cd : application RINBIO

• Utilisation données RINBIO 1998.

• Etude cinétique de bioaccumulation sur 3 stations :
-site mésotrophe: **Arcsquiers** = site d'origine des échantillons
-site mésotrophe lagunaire: **Etang de Bages**
-site oligotrophe: **Rade Ciotat.**

• Prélèvements bimensuels pendant 4 mois :
-concentration en cadmium total dans la moule: 1 mesure/ temps
- paramètres biologiques: longueur, largeur, hauteur coquille
poids sec chair, poids sec coquille
30 individus/ temps
- paramètres hydrologiques: T°, S, pH, O_2,Chla, Pha, COP, NOP

Ifremer

Modèle de bioaccumulation de Cd : application RINBIO

• Application directe du modèle inverse aux données sur trois sites :

- Bages: site fortement contaminé
  problème correspondance poids/concentration organisme,
  forte sensibilité du modèle inverse.
- Aresquiers : site non contaminé,
  organisme en équilibre dans le milieu.
- Ciotat : site moyennement contaminé.

• Importance de la justesse des mesures biologiques et chimiques sur le terrain.

• Nécessité d'un suivi cinétique de la concentration en contaminant dans la moule sur un pool d'individus et non seulement sur un individu.

• Analyse en parallèle des paramètres biométriques de ce pool.

Ifremer

Modèle de bioaccumulation des métaux :Perspectives

• Mise en place d'expérimentations de contamination/décontamination sur différents sites :

- Etang de Bages : contamination Cd,
- Baie du Lazaret (Toulon) : contamination Pb, Hg,
- Aresquiers : site d'origine des moules = site décontamination.

• Suivi temporel de la concentration en contaminant dans les moules et des paramètres biométriques sur un pool d'individus.

• Durée expérimentation : 10 à 12 semaines,
suivi tous les 15 jours.

Ifremer

Thermodynamique des vasières

Thermodynamique

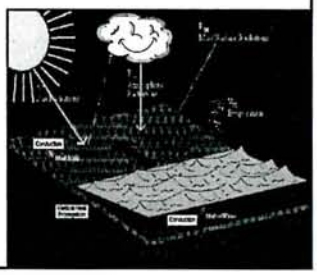
Guarini et al. (1997)

Problème: simuler les forçages physiques des processus biologiques sur les zones intertidales

Classe de modèle: ***EDP***

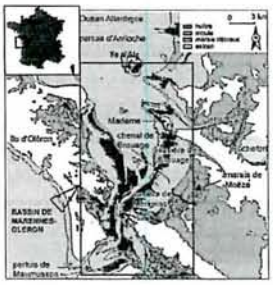
Echelle: 4 D (*temps,x,y,z*)

Projet: *INTRMUD*



Flux de matières

Effets de l'anthropisation sur les Interactions environnement/ressources – exemple des Pertuis Charentais



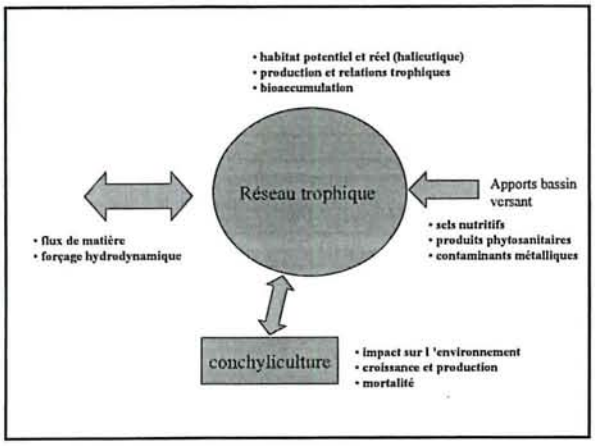
Interface continent/plateau

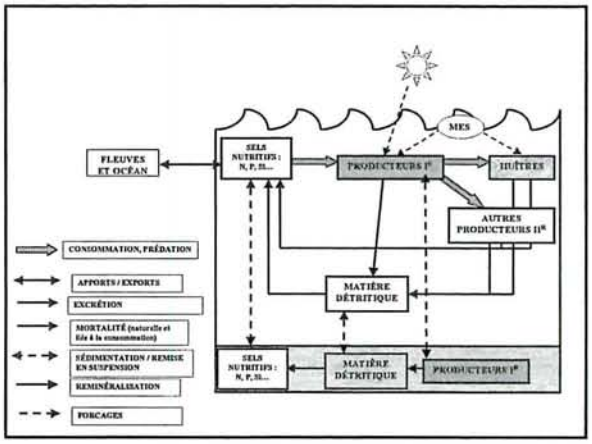
- ***Flux de matière (apport, exportation): sels nutritifs, matière organique, produits phytosanitaires***
- ***Réseau trophique (recyclage, production)***
- ***Forçage hydrodynamique du plateau continental***

Système macrotidal

- ***Importance des forçages physiques***
- ***Variabilités spatiales et temporelles (hydrodynamisme, sels nutritifs, salinité)***
- ***Anthropisation : apports bassin versant***
- ***Fonctions écologiques : habitat, production primaire et secondaire***
- ***Fonction économique: exploitation des ressources***

C. Bacher, C. Struski, JM Guarini, P. Richard, PG Sauriau





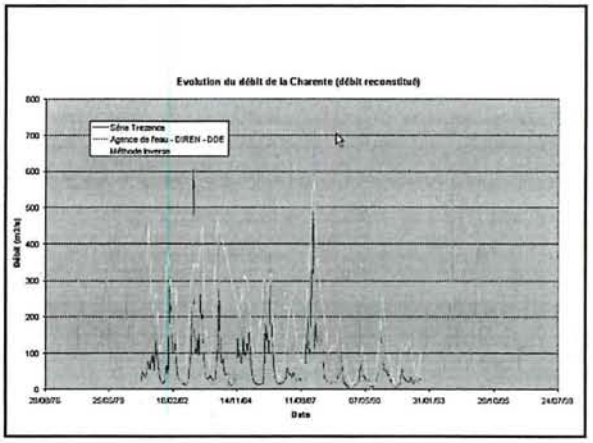
Action des *forçages physiques et anthropiques* et les *interactions entre les différentes composantes* des écosystèmes littoraux – y compris les échanges avec les systèmes côtiers - sur leur *structure*, leur *fonctionnement* et leur *productivité*

Facteurs physiques contrôlant le fonctionnement de l'ecosysteme
Objectif : Simuler et analyser la variabilité spatiale et temporelle des facteurs physiques structurant le fonctionnement de l'écosystème: hydrodynamisme, remise en suspension des sédiments et apports d'eau douce.

Production primaire
Objectif : quantifier la dynamique de la biomasse microalgale (microphytobenthos et phytoplancton), élement clé de la capacité trophique et du fonctionnement de l'écosystème.

Reseaux trophiques et flux de matières
Objectif : déterminer les *flux de matière*, l'impact de l'anthropisation - conchyliculture, apports de matière particulaire et dissoute par la Charente -, et la *variabilité temporelle* à moyen et long terme du fonctionnement et de la productivité de l'écosystème.

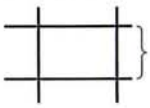
Apports de la modélisation
Objectif. définir les stratégies de modélisation:
- outils de simulation
- validation et instrumentation
- analyse de scénarios: variabilité à long terme, anthropisation



Hydrodynamisme
équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement

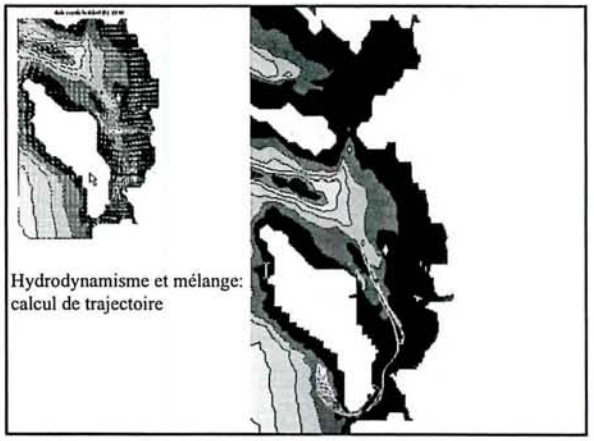
Transport et transformation de la matière
advection, diffusion, apports, sources (production), puits (consommation)

Echelle spatiale fine

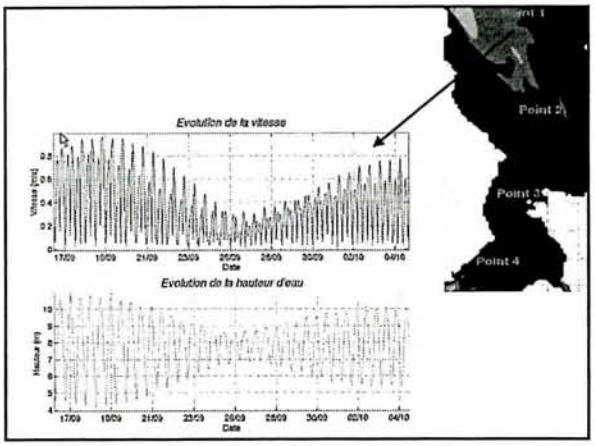


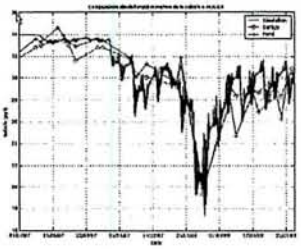
dx ≈ 300m

Echelle temporelle
prise en compte des phénomènes de marées
pas de temps de calcul = 20 sec.

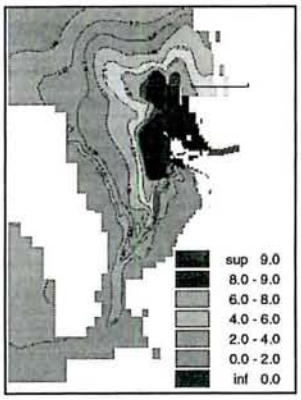


Hydrodynamisme et mélange: calcul de trajectoire





Apports des bassins versants : simulation de la salinité



CONCENTRATION EN PHYTOPLANCTON

(en µmoleN.L^{-1})

1er juillet 1990

Variabilité temporelle:
- heure/jour/semaine:
  hydrodynamisme (différentes fréquences), transport, remise en suspension
- saison/année: météo, apports des rivières, productivité biologique
- aléatoire: météo

Sources de données:
- réseau de suivi hydrobiologique: sels nutritifs, MES, chlorophylle
- réseaux de suivi environnement: REMI, REPHY, RNO
- mesures ponctuelles (atrazine, courants)
- suivi météorologique (continu)
- forçage hydrodynamique (modèle Plateau, harmoniques)
- modèle bassin versant: débit, concentration
- typologie activités bassin versant (règle de trois!)

Stratégie de modélisation
- implémentation de code de calcul:
  forçage, résolution spatiale, bathymétrie
- scénarios basés sur des grandeurs conservatives:
  atrazine, bactéries, salinité, MES (?), nitrates (?)
- scénarios basés sur des cas réels (étiage, crue, saison) et reconstitution de séries à long terme (débit, sels nutritifs)
- test d 'hypothèse, calibration des équations : production primaire, remise en suspension, effet des huitres cultivées

Impact Aquaculture intensive

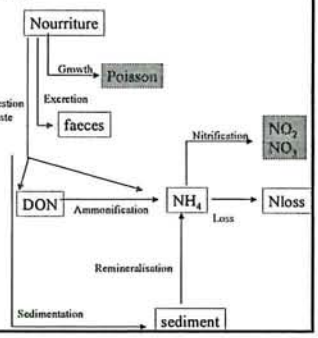
Aquaculture intensive

Lefebvre et al. (2001)

Problème : estimer l'impact de l'aquaculture intensive sous forme de flux de matière

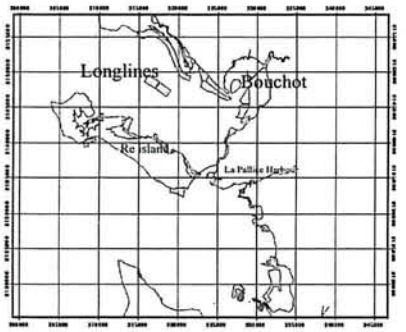
Classe de modèle: *EDO*

Echelle: 1 D (*temps*)

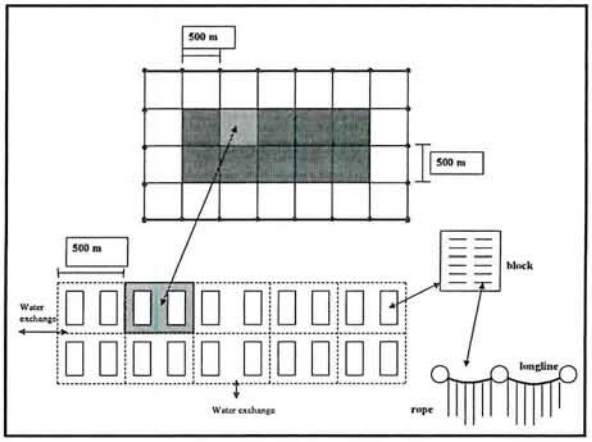


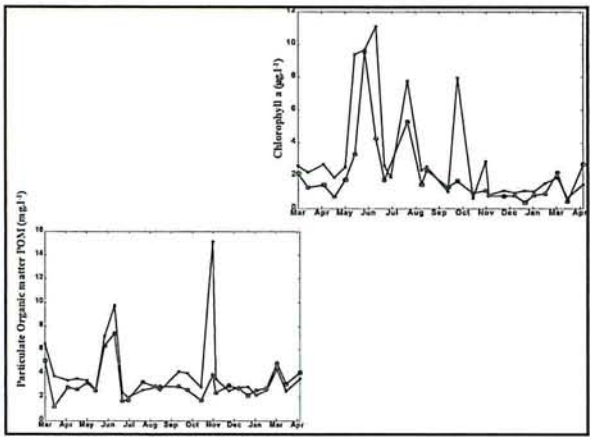
Déplétion

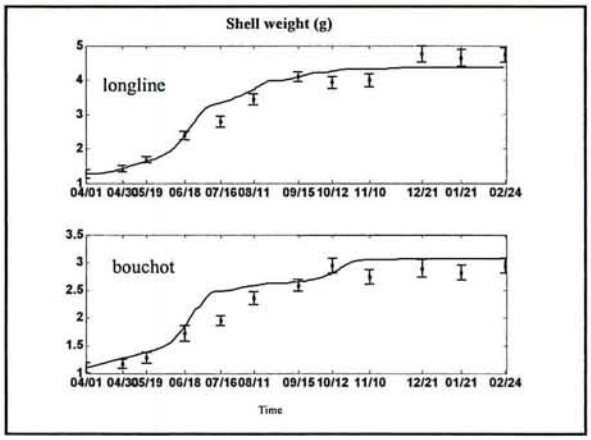
Aiguillon Bay mussel growth

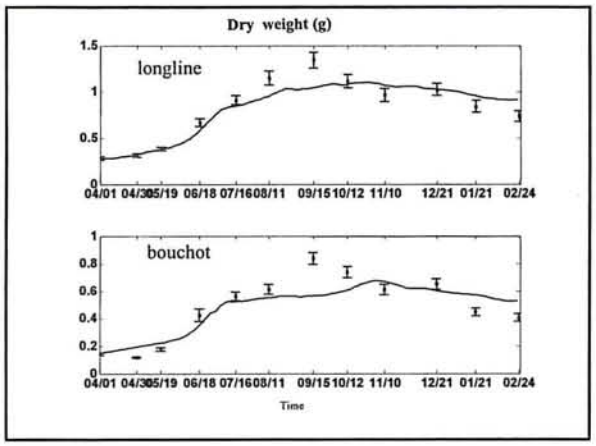


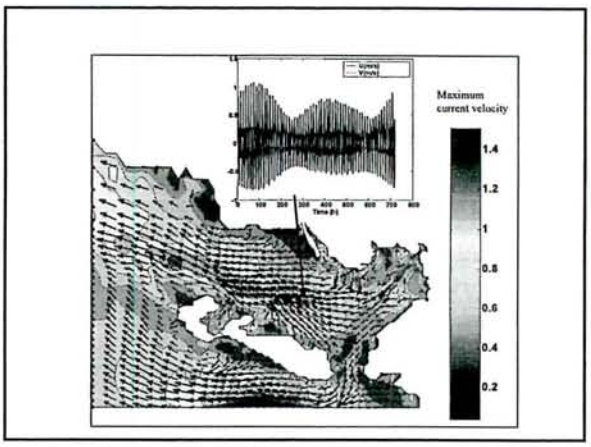
C. Bacher, P. Garen, S. Bougrier, S. Robert

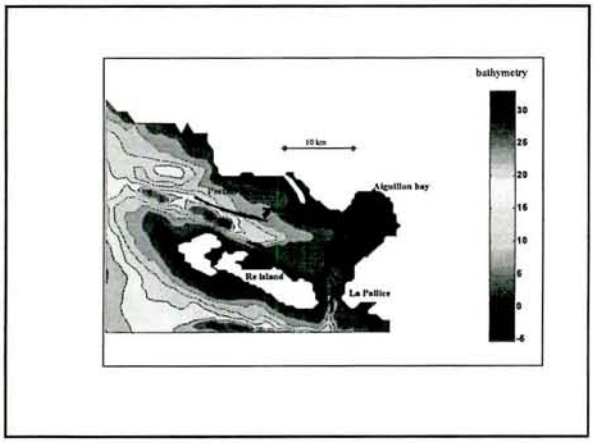


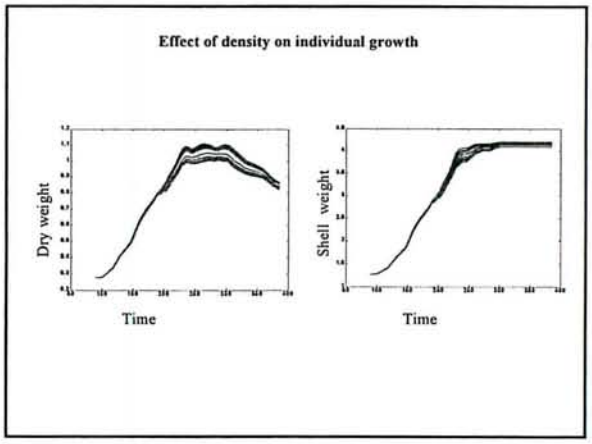












	Standard	Scenario I	Scenario II	Scenario III	Scenario IV	Scenario V
# longlines per grid	24	250	500	750	1000	500
$\rho_{mussels}$(mussel. m^{-3})	5	53	107	161	214	107
size	L_x=2500m L_y=1000m	L_x=2500m L_y=1000m	L_x=2500m L_y=1000m	L_x=2500m L_y=1000m	L_x=2500m L_y=1000m	L_x=2500m L_y=2500m
TPM depletion	0.4	4	7.7	11	14	13.2
Phytoplankton depletion	0.56	5.5	10.2	14.4	18	17.2
POM depletion	0.44	4.4	8.3	11.9	15	14.2

Capacité trophique

Carrying capacity model: examples

Carrying capacity : theory

Detailed ecosystem models have been used to simulate different scenarios of standing stocks and related productions in 2 bays:

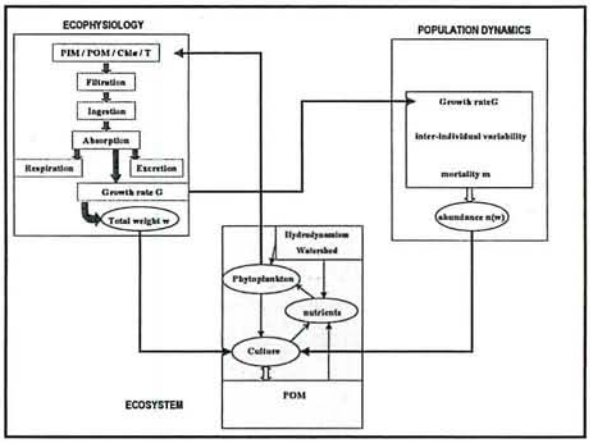
- Marennes-Oleron Bay, extensively used for oysters culture (Bacher et al., 1998)
- Carlingford Lough, not yet fully exploited (Ferreira et al., 1998)

Both models account for :

- nitrogen cycling between nutrients, detritus, phytoplankton and oysters
- hydrodynamics (box models)
- cultured population dynamics

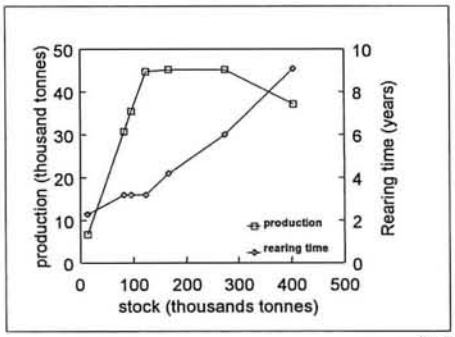
- Modelling ecoystem dynamics yields the relationship between growth rate and density (or standing stock). Carrying capacity may be assessed assuming a constant seeding and a given marketable size.

- Other scale should be considered when variability of growth is concerned

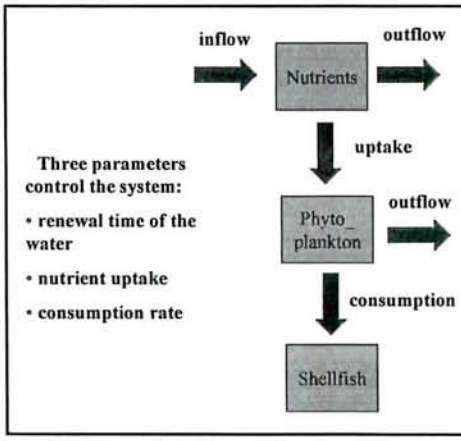


Example: MARENNES-OLERON BAY (France)

Relation between production and standing stock



Bacher et al., 1998



Three parameters control the system:

- renewal time of the water
- nutrient uptake
- consumption rate

Assumption: equilibrium between the flows

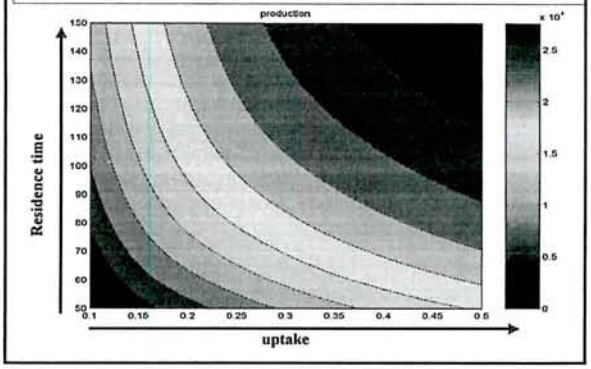
System of equations

P=phytoplankton concentration
Q=nutrients concentration
N=number of individuals

q=water inflow, q0=nutrient input
pmax = uptake parameters
G=growth rate, T=rearing time
wm=market weight, m=mortality rate

Objective: to assess the maximum production Pr

Production=f(uptake, nutrient input, residence time)



Conclusion

Generic model: ecophysiology, ecosystem dynamics, poplation dynamics

Applications: Marennes, Carlingford, China, Canada, South Africa, New-Zealand

Scales: ecosystem, long-term

Dynamique de population

Étude et modélisation de la dynamique de population des bivalves (*Crassostrea gigas* et *Mytilus galloprovincialis*) en élevage et des ascidies dans l'étang de Thau

A. Gangnery, C. Bacher, D. Buestel

INTRODUCTION

Objectif

Comprendre et prédire à une échelle annuelle :
- l'évolution du stock et la production de bivalves en élevage,
- l'évolution du stock d'ascidies solitaires associées aux élevages de bivalves.

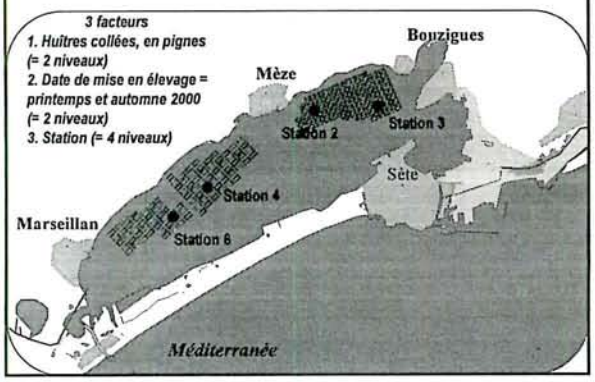
Moyen

Mise en place d'un outil de modélisation
Modèle de dynamique de population

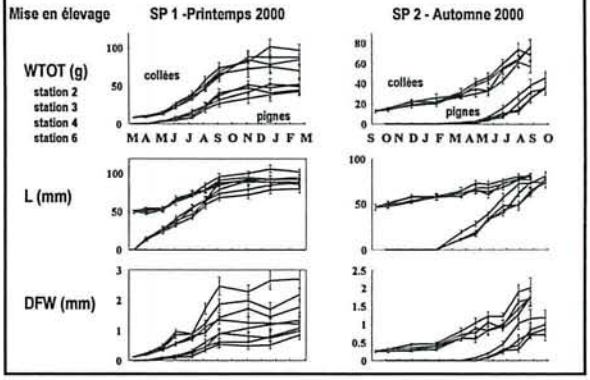
Intérêts

- Économique : connaissance précise de la production et aide en matière de gestion des stocks.
- Écologique : quantification réaliste de l'impact des bivalves et des ascidies sur l'écosystème Thau et de leurs besoins.

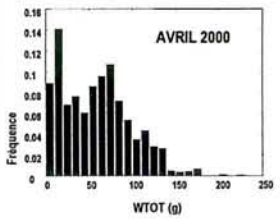
SUIVIS DE CROISSANCE



SUIVIS DE CROISSANCE - Huitres

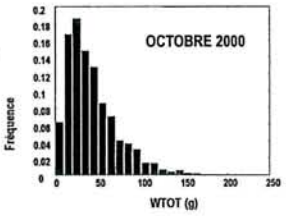


RESULTATS DES ESTIMATIONS DE STOCKS 2000 - Distributions en classes de poids



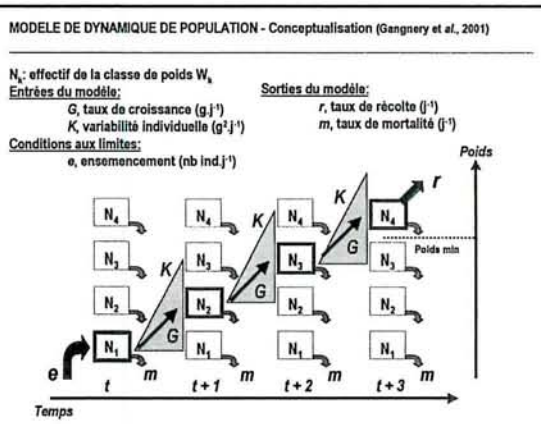
Stock total : 14 600 t
Stock d'huitres : 10 000 t

Stock total : 18 000 t
Stock d'huitres : 12 700 t

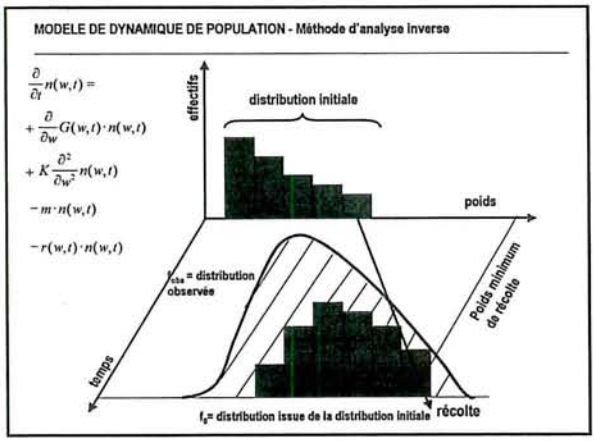


Évolution du stock et de la production entre ces 2 dates ?

MODELE DE DYNAMIQUE DE POPULATION - Conceptualisation (Gangnery et al., 2001)

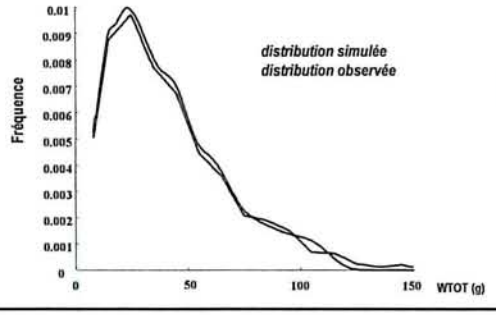


MODELE DE DYNAMIQUE DE POPULATION - Méthode d'analyse inverse



MODELE DE DYNAMIQUE DE POPULATION - Simulation (1)

Comparaison des distributions finales obtenues en octobre 2000

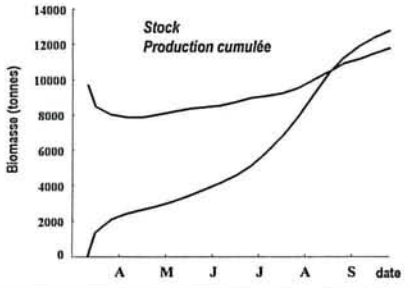


MODELE DE DYNAMIQUE DE POPULATION - Simulation (2)

Évolution du stock et de la production simulées par le modèle entre avril et octobre 2000

Stock final observé ≈ 12 700 t
Stock final prédit: 11750 t

Production cumulée prédite: 12750 t



CONCLUSION

Modèle prédictif couplant facteurs environnementaux, stratégie d 'élevage et dynamique de population

En cours: couplage avec modèle d 'écosystème

En cours: prise en compte de résultats d 'enquête

Réseau trophique

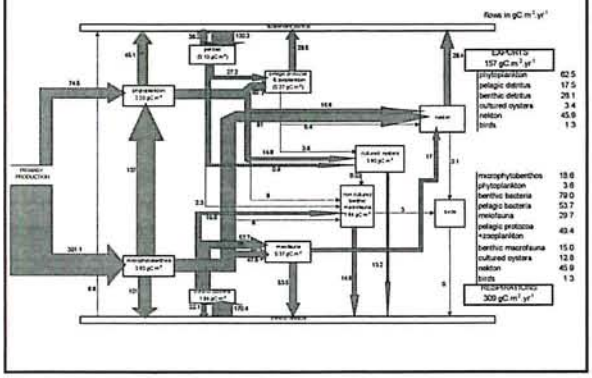
Structure du réseau trophique
Leguerrier et al., 2002

Problème : simuler la structure du réseau trophique à partir d 'un modèle de flux de carbone à l 'équilibre

Classe de modèle: *Analyse inverse*

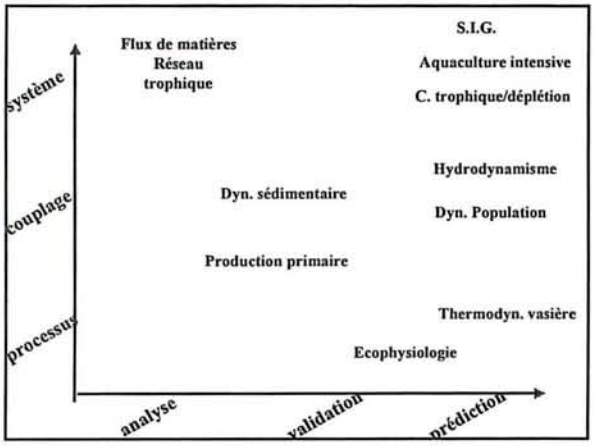
Echelle: 1D (m)

Projet: *CPER, Défi*



Thématiques et Perspectives: échelles

La modélisation repose sur le choix et la définition d 'échelles de représentation et d'observation



Thématiques et Perspectives: méthodes

Conceptualisation et formalisation mathématique

- équations différentielles:
  - dynamique de population
  - flux de matière
- approche individu-centrée:
  - variabilité de la croissance individuelle
  - identification des sources de nourriture (trajectoires)
- modèle stochastique:
  - temps de résidence
  - comportement poisson (mésocosme)

Paramétrisation, calibration et assimilation des données

- changement d'échelle
- méthodes inverses pour l'estimation de termes sources

Thématiques et Perspectives: pluridisciplinarité

Rôle des outils expérimentaux pour la modélisation

- mésocosme
- canal benthique
- écophysiologie

Pôle modélisation, collaborations et transfert de connaissances

- formation en interne et réseau de modélisateurs
- outils génériques de simulation pour l'intégration des modèles
- prise en compte des modèles dans les projets

Thématiques et Perspectives: écosystèmes

Les Pertuis et la zone côtière

- interactions aquaculture/environnement à différentes échelles
- interactions zone côtière/Marennes-Oléron
- interactions bassin versant/Marennes-Oléron

Une nécessité: l'organisation des connaissances sur les écosystèmes conchylicoles pour la validation et le forçage des modèles

- base de données, systèmes d'information géographique
- instrumentation et validation

ANNEXE 11

AMPHYBI : Appareil de mesure de la physiologie des bivalves

J. LEGRAND

Etude métrologique du système AMPHYBI

Etude menée de septembre 2000 à Juin 2001

Au laboratoire de métrologie de TMSI/RED/EM

Et au laboratoire DRV/RA/PI de la station d 'argenton

Ifremer

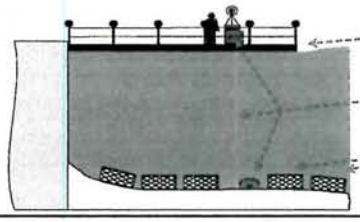
Etude métrologique du système AMPHYBI

AMPHYBI : Appareil de Mesure de la Physiologie des Bivalves

Les mesures sont faites sur site

Mesure de la fluorescence : quantifier la filtration

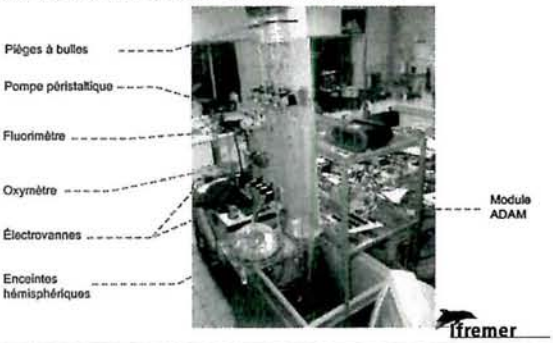
Mesure de l 'oxygène dissous : mesurer la respiration



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

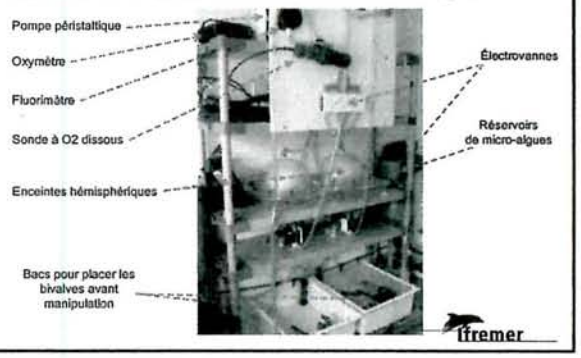
Maquette réalisée au laboratoire de métrologie à TMSI :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

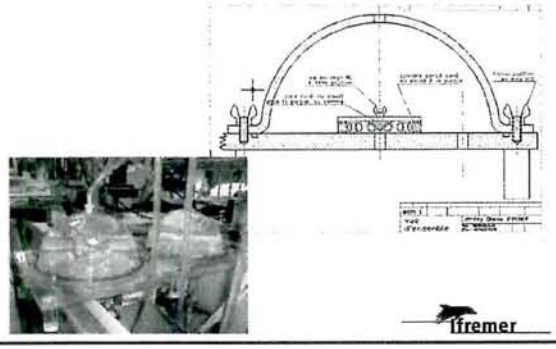
Adaptation de la maquette au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

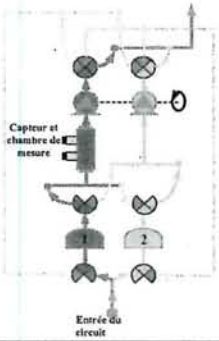
Les enceintes de conditionnement des animaux :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

Circuit hydraulique de la maquette :



Exemple de mesure en boucle ouverte

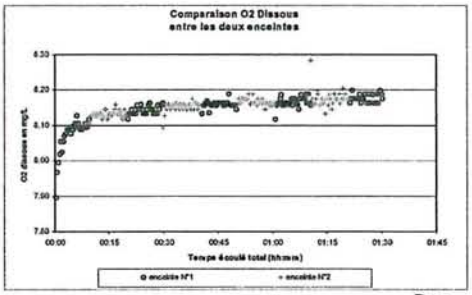
Enceinte 1 en boucle ouverte avec mesures : —

Enceinte 2 en boucle ouverte sans mesure : ----

Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

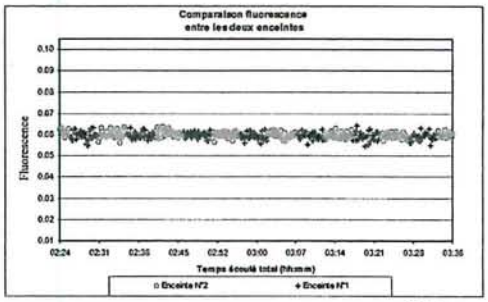
Etude métrologique au laboratoire de métrologie à TMSI :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

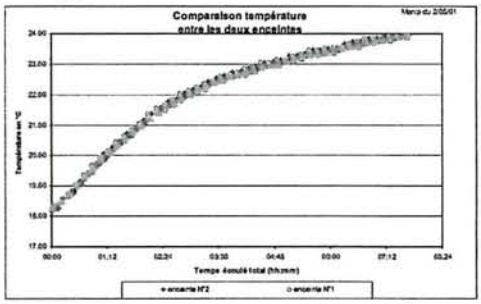
Etude métrologique au laboratoire de métrologie à TMSI :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

Etude métrologique au laboratoire de métrologie à TMSI :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

Etude au laboratoire de la station d 'argenton :

Adaptation de la maquette pour les tests avec animaux et eau de mer tempérée fournie en continu.

Mesures avec des animaux :

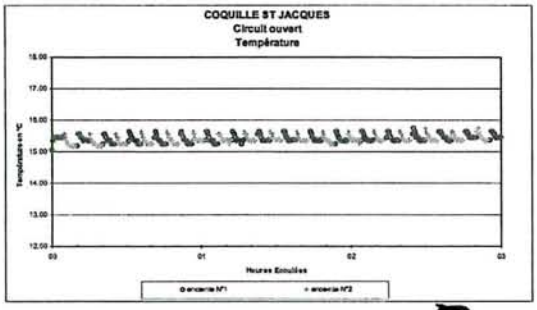
Tester différents animaux.

Comparer les résultats à la théorie.

Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

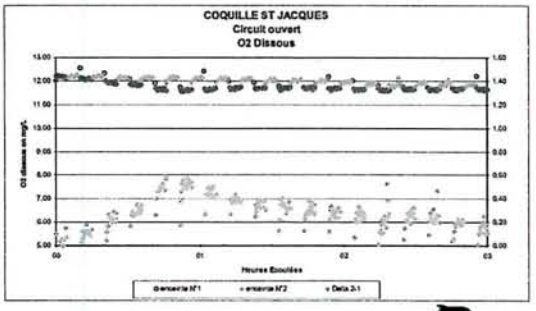
Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

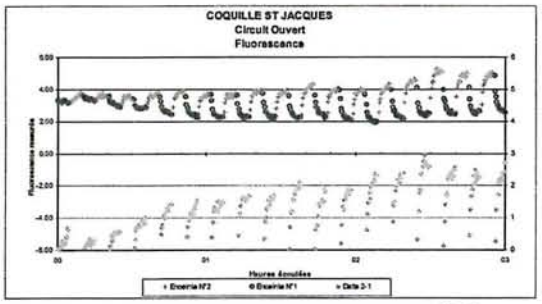
Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

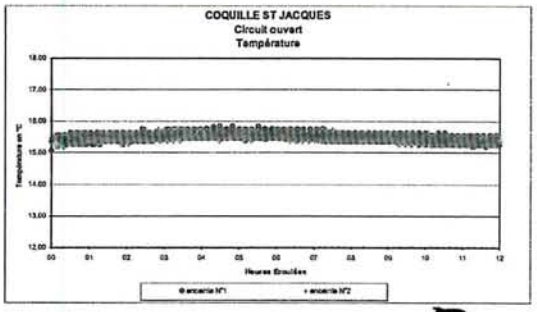
Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

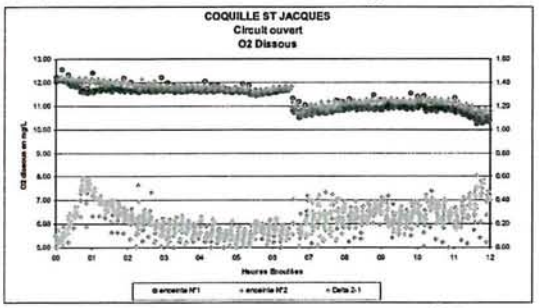
Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

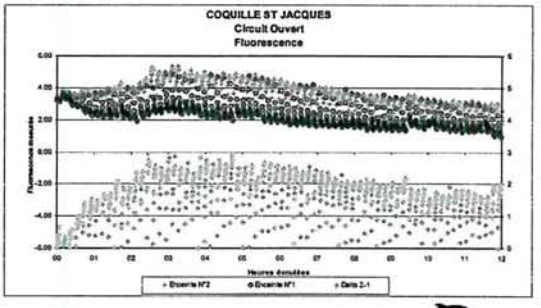
Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

Résultats obtenus au laboratoire de la station d 'Argenton :



Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI

Conclusion sur la maquette :

La maquette métrologique est opérationnelle.
Attention une partie du matériel reste au laboratoire de métrologie de TMSI : capteur O2, interface de mesure ADAM, PC, Pompe, ...

Les mesures avec animaux donnent des résultats satisfaisants.
Les mesures sont parfois perturbées par, semble-t-il, des bulles ou par la dépression occasionnée par le pompage.

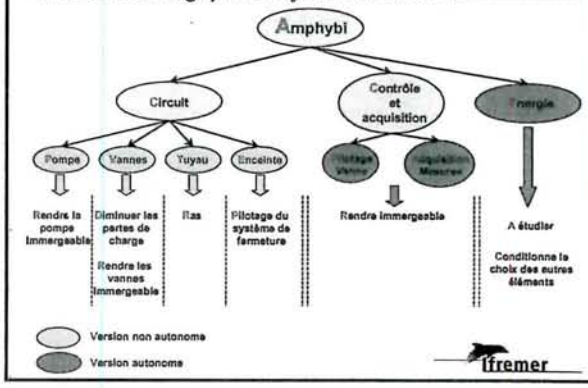
Les améliorations :

Fabrication d 'une chambre de mesure pour l 'O2 en veillant à réduire au maximum les volumes morts.

Améliorer le circuit en diminuant les pertes de charge dues aux vannes.

Ifremer

Etude métrologique du système AMPHYBI



Ifremer

AMPHYBI nouvelle génération

Objectifs:

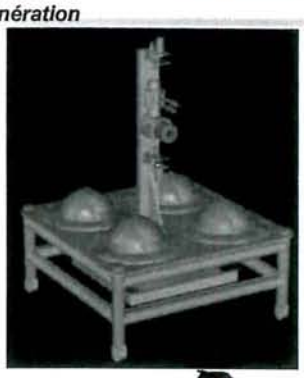
- réduire le bruit de mesure (bulles dans la cellule de mesure),
- limiter l'élévation de la température en fonctionnement en circuit fermé,
- réaliser un équipement transportable et opérable sur site (ponton),
- mesurer:
  - débit,
  - fluorescence,
  - DO,
  - conductivité et température.

Ifremer

AMPHYBI nouvelle génération

Options:

- cloches 2,5 l et 11,5 l,
- module énergie interchangeable,
- mesures complémentaires:
  - turbidité,
  - activité valvaire,
  - nitrates,
  - ammoniac,
  - irradiance.



Ifremer

ANNEXE 12

MAREL : Mesures à haute fréquence, *in situ*, automatisées et accessibles en temps réel

J. LEGRAND

MAREL

Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-18 juin 2002

Ifremer

MAREL

Mesures *in situ*, automatisées, haute fréquence, accessibles en temps réel.

Présentation technique générale

Etat des réalisations

Développement technologiques en cours

Jacques Legrand - Technologie Marine et Systèmes d'Information
La Trembiade 17 et 18 juin 2002

A1

MAREL

Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-18 juin 2002

Ifremer

Mesures *in situ*, automatisées, haute fréquence, accessibles en temps réel.

Historique

objectifs environnementaux: niveaux et tendances sur le modèle du RNO.

1992 - 1995 choix du concept MAREL et développement du prototype
1995 - 1997 étude, réalisation et installation Station Estuarienne de Honfleur
1997 - 1998 étude, réalisation et installation Station Marines
1999 développement Station d 'alerte usine CEO Landerneau
2001 développement de la Station de surveillance de milieu d 'élevage

Marel SE
Marel SM
Marel SP

Il existe, aujourd 'hui, une ligne de produits MAREL utilisant une technologie confirmée.

Les acquis

- la validation du concept et le choix des matériel (capteurs),
- l 'établissement des procédures opérationnelles (maintenance préventive et contrôle qualité sur les mesures et les données),
- le développement d 'un partenariat industriel (GISMAN , HOCER).

A2

MAREL

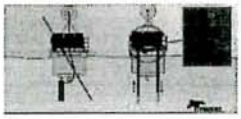
Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-18 juin 2002

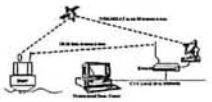
Ifremer

Mesures *in situ*, automatisées, haute fréquence accessibles en temps réel.

Principes généraux



- pompage des échantillons à plusieurs niveaux de la colonne d 'eau vers une chambre de mesure unique,
- protection des capteurs grâce au contrôle de leur un environnement physique,
- télémaintenance des stations grâce au protocole de communication TCP/IP,
- remplacement périodique du jeu de capteurs pour recalibration,
- logiciel d 'aide au contrôle qualité des données.



A3

MAREL

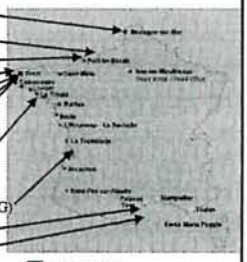
Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-18 juin 2002

Ifremer

Implantations MAREL en France

1 station marine (DEL/INSU)
3 stations marines et 1 estuarienne
1 station estuarienne (DRV - MOREST)
1 station site protégé (DRV)
1 station marine (IUEM - INSU)
1 station estuarienne (CUB-PAE)
1 station site protégé (CUB-PAE)
1 station marine (défi Golf Gascogne)
4 stations estuariennes (CR Aquitaine - AEAG)
2 stations estuariennes (ORE)
2 stations marines (défi Med)



en opération
en développement
en négociation

A4

MAREL

Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-18 juin 2002

Ifremer

Station Marine - SM

Mesures dans la colonne d'eau jusqu'à 50 m de profondeur

- échantillons pompés à des niveaux prédéfinis,
- un seul jeu de capteurs.

Autonomie énergétique

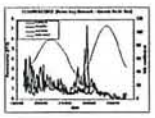
- panneaux solaires.

Disponibilité des données en temps réel

- système de communication bi-directionnelle: GSM or Inmarsat.

Adaptabilité des paramètres mesurés

- standard: T, S, DO, pH, Turbidité, Chlorophylle,
- option: nitrates, phosphates, silicate, PAR,
- prélèvement télé-opéré.



A5

MAREL

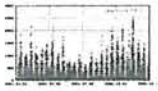
Journées DRV-RA

Station Estuarienne - SE

Mettre à profit les infrastructures existantes
- support flottant
- énergie
- communication

Disponibilité des données supérieure à 90%

Coûts de fonctionnement optimisés



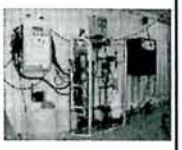
MAREL

Journées DRV-RA

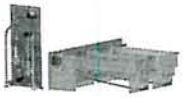
Station en site protégé - SP

Installation en local clos et couvert

- alléger les niveaux de protection et d'automatisme et donc réduire les coûts de fonctionnement,
- un jeu unique de capteurs contrôle plusieurs bacs,
- utiliser les réseaux existants (EDF, téléphone)



Station d'alerte de Pont ar Bled (CUB)



Station de surveillance de milieu d'élevage
Ecloserie d'Argenton

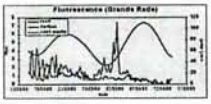
MAREL

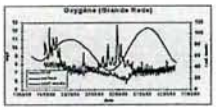
Journées DRV-RA

Accès aux données

http://www.ifremer.fr/marel/

Sous forme numérique ou graphique





MAREL

Journées DRV-RA

Refonte de la base de données et développement d'un outil de contrôle qualité

Objectif: faciliter les opérations de validation en favorisant l'automatisation

présentation conviviale des niveaux de qualité des données
interface graphique
accès aux normales saisonnières

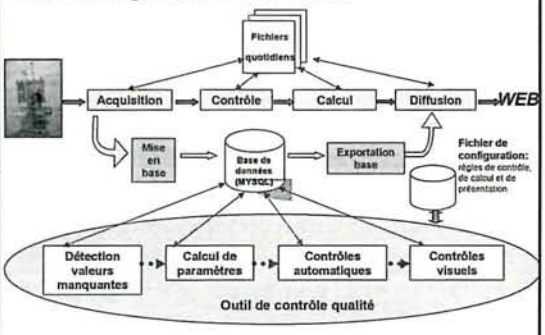
Niveaux de traitement des données

T0 : données brutes non contrôlées
T0,5 : données ayant passé les contrôles automatiques
T1 : données contrôlées "temps reel"
T2 : données contrôlées "temps différé" (retour calibration...)

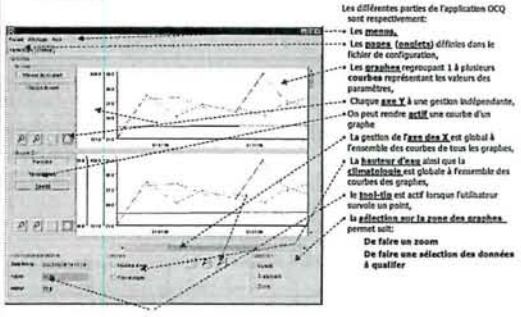
Flags de qualité

0 - Non qualifié,
1 - Bon (vert),
2 - Hors statistiques (jaune),
3 - Douteux (orange),
4 - Faux (rouge),
9 - Manquant (noir)

Station de gestion des données



Interface de l'outil de contrôle qualité des données



Evaluation des coûts d'opération

(en euro par station et par an)

Station Marine

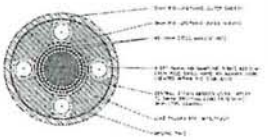
personnel	12 H.M	
embarcation	4 j	20 000
consommables		7 000
divers		750

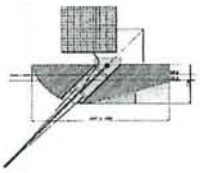
Station Estuarienne

personnel	2 H.M	
embarcation		0
consommables		100
divers		750

Les développements technologiques en cours

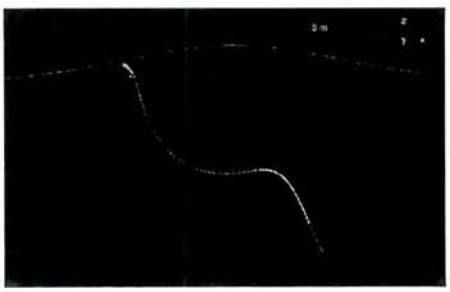
Ombilical d 'ancrage et prélèvement monobrin





Support nautique associé

Les développements technologiques en cours



MAREL

Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-19 Jan 2005

Ifremer

Site de la future station Marel Boulogne

Une station marine installée sur une structure fixe

Extrémité de la digue Carnot

01

MAREL

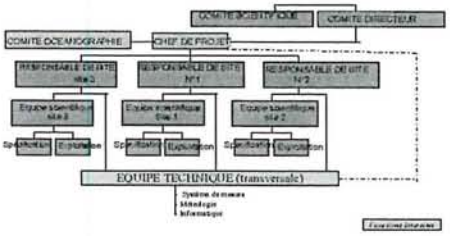
Journées DRV-RA

Jacques Legrand 17-19 Jan 2005

Ifremer

Projet ROSLIT

Organisation du projet pour les phases de développement et d 'exploitation pré-opérationnelle



02

ANNEXE 13

Instrumentation et Aquaculture

H. CHARTOIS

CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer

L 'instrumentation au CREMA

Les divers programmes de recherches en cours nécessitent la réalisation de nombreuses séries de mesures diverses: température, oxygène dissous, turbidité... qu'il est indispensable d 'automatiser.

Cette automatisation, tout en libérant du temps pour le personnel technique, peut également assurer une meilleure reproductibilité des résultats.

CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer

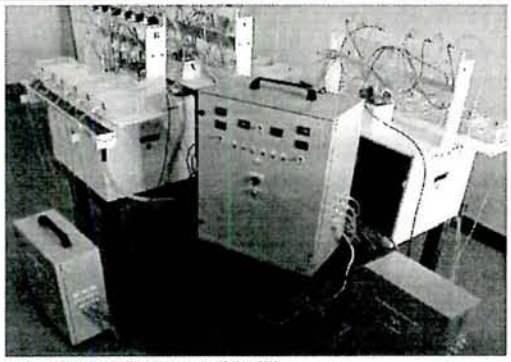
Au début, au service du laboratoire...

Quelques exemples d'équipements réalisés:

- Automate d'acquisition de multiples paramètres physico- chimiques dans un mésocosme utilisé lors d'études concernant la physiologie des poissons.
- Automate gérant 18 enceintes individuelles et permettant le suivi de facteurs divers, appliqué à des recherches sur la physiologie des mollusques.
- Dispositif automatique mesurant la consommation d'oxygène par des crevettes en expérimentation à la demande de nos collègues de Nouméa.

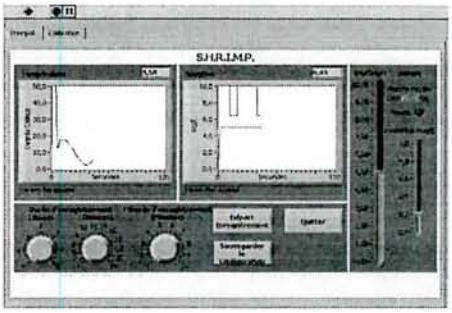
CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer



CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer



CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer

Aujourd'hui, tournée vers les marais !

Dans le cadre du programme européen GENESIS, le pilote actuellement mis en place dans les marais du CREAA a nécessité la réalisation du dispositif assurant l'acquisition des diverses mesures relatives à son bon fonctionnement, ainsi que le pilotage de l' aération des bassins et des débits d'eau de mer circulant.

La gestion automatique globale de la culture de micro-algues fait partie d'une phase ultérieure du développement de ce projet.

CREMA - L'HOUMEAU

Ifremer

L 'acquisition de données dans ce projet

- L'intérêt n'est pas obligatoirement la valeur absolue de la mesure sur une période de temps importante, difficilement réalisable dans les conditions du terrain ...

Mais plutôt l'évolution temporelle de séries de données correctes, qui peuvent éventuellement être affectées de dérives que l'on s'efforcera d'estimer au préalable.

CREMA - L'HOUMEAU

Les contraintes du terrain...

- La réalisation de longues séries temporelles,
- Une alimentation secteur pas toujours disponible ou fiable,
- Des points de mesure éloignés du système d'acquisition,
- Une absence de spécialiste pour la mise en œuvre de l'équipement d 'acquisition ...

Les solutions adoptées:

- Utilisation d'un matériel de type industriel, alimenté en basse tension (24 V) et équipé d'une sortie 4-20 mA,
- Emploi d'un logiciel de développement, LabVIEW, qui permet la réalisation d'un instrument virtuel convivial.

CREMA - L'HOUMEAU

Les paramètres à mesurer sont classiques:

- la température du milieu d'élevage
- l'éclairement
- les niveaux d'eau des bassins (3)
- les débits d 'eau de mer circulant (3)
- la turbidité (3)
- le pH (3)
- l'oxygène dissous (2)

Les asservissements à réaliser sont simples:

- le pilotage des vannes motorisées régulant les débits
- le contrôle du fonctionnement d'aérateurs piscicoles

CREMA - L'HOUMEAU

Un équipement d'acquisition modulaire

Il se compose d'une carte mère d'ordinateur de type PC, d'une carte d 'acquisition de données et de périphériques qui ont été assemblés par nos soins dans un boîtier étanche.

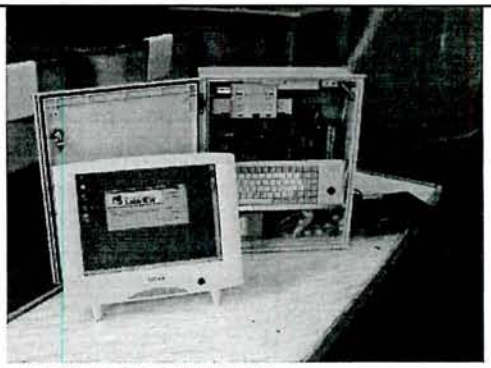
Le clavier track-ball peut se loger dans le coffret.

L'écran à cristaux liquides est amovible et externe au dispositif.

Ce choix a été fait afin de minimiser les prédations sur le marais.

L'ensemble est alimenté sous 24 Volts (batteries et convertisseur 220V-24V).

CREMA - L'HOUMEAU



CREMA - L'HOUMEAU

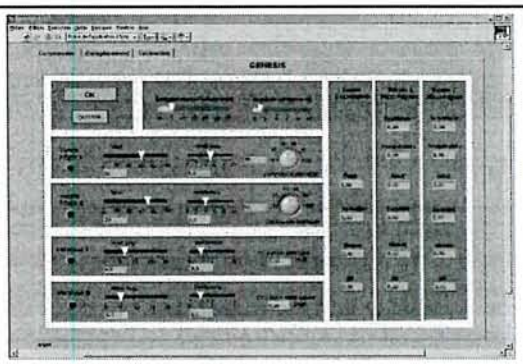
La face avant de l 'instrument virtuel

Développée à l'aide de LabVIEW 6i, elle permet l 'accès à toutes les informations nécessaires au suivi et au bon fonctionnement du pilote GENESIS.

Trois onglets correspondent aux tâches à réaliser:

- la première fenêtre sert à configurer l'ensemble des capteurs et chaînes de mesure,
- la seconde fenêtre est utilisée pour la gestion des fichiers d'acquisition réalisés et l'extraction de ces données pour un traitement dans un tableur,
- la dernière permet une visualisation des mesures en cours ainsi que le pilotage des divers périphériques.

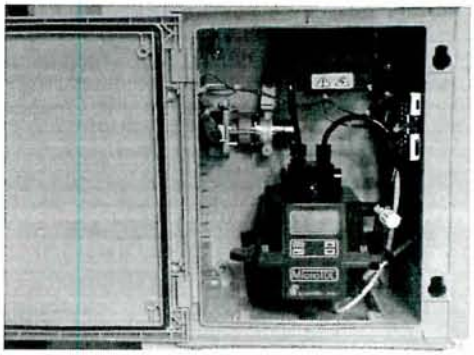
CREMA - L'HOUMEAU

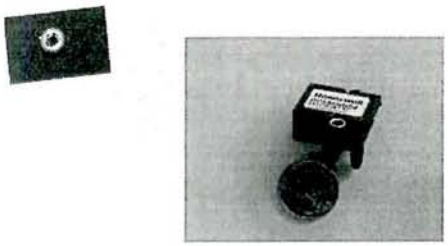


Des développements spécifiques

Les capteurs employés proviennent pour la plupart de l'équipement destiné aux mesures en milieu industriel, mais d'autres ont fait l'objet d'une adaptation originale en raison de leur coût particulièrement faible:

- mesure de l'éclairement à l'aide d'une photo-diode sensible dans le visible (prix 10 €),
- détermination du niveau des bassins réalisée en employant des capteurs miniatures de très basse pression différentielle (prix 80 €).

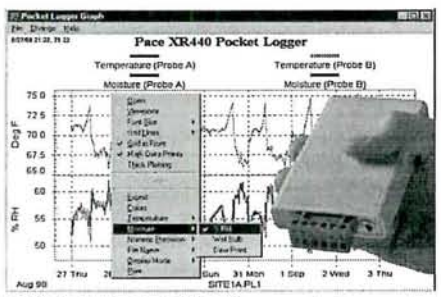




Les acquisitions isolées

Dans le cas de mesures en faible nombre, dans des sites éloignés ou bien pour une durée limitée, l'utilisation de petits data-loggers associés à de robustes capteurs peut être envisagée comme une alternative intéressante en terme de budget.

Data logger autonome 4 voies



http://www.pace-sci.com/

Les perspectives de l'instrumentation au marais

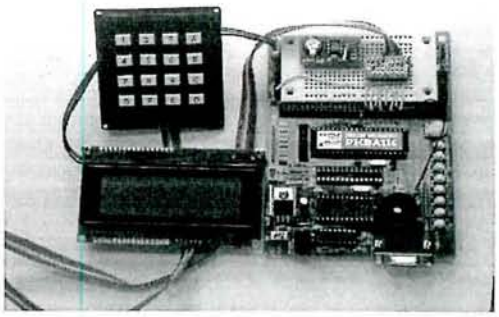
Application de ce projet à d 'autres sites si possible:

- développement instrumental dans le cadre des études concernant le bassin de Marennes-Oléron,
- mise en place d'un équipement analogue à celui de GENESIS dans le cadre du programme DEMOS pour la Nouvelle Calédonie.

Réactiver le projet de réseau de mesures en marais ostréicole déjà envisagé avec le CREAA et La Région.

Les réalisations en projet

- La transmission par liaison série radio FM de données sur de petites distances, ou bien par l'emploi de modems de type GSM
- La mise au point de petit automates de mesures et de pilotage de périphériques à très faible coût grâce à l 'utilisation de modules autonomes PIC (Programmable Integrated Circuit).



Pour finir, un souhait ...

Il faudrait qu'à l'intérieur du département Ressources Aquacoles, les personnes motivées ou intéressées par un développement instrumental au laboratoire comme sur le terrain, partagent leur expérience, leur savoir faire concernant les dispositifs d 'acquisition ainsi que leur choix dans le domaine des capteurs.

C 'est ensemble que nous devons demander une assistance technique au département TMSI.

ANNEXE 14

Les base de données

A. G. MARTIN

Les bases de données

Anne-Geneviève Martin

Atelier : quelles stratégies pour l 'analyse et l 'archivage des données géographiques

Journées DRV RA - 18 juin 2002 - La Tremblade

Ifremer

Démarche

- Archivage et analyse, quelle suite logique ?
- Contraintes liées à l 'archivage partagé
- Solutions en cours de réalisation à RA
- Disponibilité des données

Archivage et analyse ----------quelle suite logique ?

Données brutes ⇨ Archivage intermédiaire ?
Trace à conserver (papier/numérique)

Données validées ⇨ Archivage permanent
Extraction conviviale

Analyse

Données traitées ⇨ Mise à disposition pour d 'autres utilisations

Analyse

...

La troisième phase d 'Archivage est particulièrement nécessaire pour :

la modélisation
- stockage des simulations

l 'information géographique
- structurée en couches

Démarche

- Archivage et analyse, quelle suite logique ?
- Contraintes liées à l 'archivage partagé
- Solutions en cours de réalisation à RA
- Disponibilité des données

Donnée partagée ⇨ ---- ---------impératifs techniques

au sein d'un même projet ⇨ accès en réseau

au sein d 'un même organisme ⇨ + Format d 'échange

Avec d 'autres organismes ⇨ + Protection + Coût

- de la mise à disponibilité
- de la donnée elle-même

Exigences

- Standardisation des noms
- Standardisation des formats
- Qualité de la donnée fonction
  - de l 'instrument de mesure
  - des conditions de mesure
- Information descriptive des données
  = Métadonnées

Démarche

Archivage et analyse, quelle suite logique ?

Contraintes liées à l 'archivage partagé

- Solutions en cours de réalisation à RA

Disponibilité des données

Système d 'Information Conchylicole

Repamo
Remora
Morest
Suivis conchylicoles
Données stocks
Données suivi de milieu
Valorisation

Repamo

Base REseau PAthologie MOllusques
- projet TMSI/IDM/ISI - RA
- applicationsous Oracle en cours de finition
- formation des utilisateurs 19-20 juin
- reprise des données Access en juillet

Utilisation en SIG :
- zonage
- description état zoosanitaire
- épidémiologie

Remora

Base Access terminée
- étape de gestion intermédiaire (réal. RATrin.)
- administration-gestion P.G. Fleury
- pas de mise en réseau pour le moment
- données transférées d'Excel après validation
- reprise des anciennes données ~ terminée
- outils d'extraction en cours (P.G.F.)

Utilisation possible en SIG
- visualisation des résultats annuels
- analyse des évolutions à long terme

Morest

Exemple de projet multi-équipes

Données expérimentation terrain partagées
- Données milieu
  - cf. transparent 15
- Données mollusques
  - gestion en cours de mise au point

Solution Morest

Base en réseau sous PostgreSQL
- mise en place et gestion TMSI/IDM/RIC
- même structure que Remora
- accès labos en cours d'installation
  - possible en local à partir d'Access
- saisie sous Excel -> transfert après validation
- outil d'interrogation à faire
- reprise des données en cours
- opérationnelle fin juillet ?

Suivis conchylicoles - stocks

- ~ Généralisation des suivis de type Remora et Morest + stocks
  - Choix restant à faire
  - Implication TMSI/IDM/ISI
  - Nécessité d'un groupe de travail
  - Cahier des charges à établir
- Base actuelle stocks sous Access interfacée avec ArcView (LCPC)

Données suivis de milieu

- Données similaires à la DEL
- Basse fréquence
  - solution DEL = Quadrige
  - solution LCPC actuelle Access (base Razlec)
- Haute fréquence
  - stations Marel = Base en cours de création
  - sondes de terrain -> solution à trouver
- Réunion prévue 5 juillet 2002
  - TMSI - RA - DEL
  - détermination des étapes

Démarche

Archivage et analyse, quelle suite logique ?

Contraintes liées à l 'archivage partagé

Solutions en cours de réalisation à RA

- Disponibilité des données

Disponibilité au sein d'Ifremer

- Serveur géographique -> Sextant
- Application d'extraction -> Quadrige
- Site Internet d'extraction -> Marel
- Site Intranet d'extraction -> Repamo
- Formulaires de requête -> Access
- Fichiers sur serveur Sismer -> PNEC
- Fichiers dispersés -> s'adresser aux responsables
- Projet TMSI plus global -> en étude

InterDisponibilité

Multiplicité des Sites d'accueil des données
- Bosco - SeaSearch - Edmed - Sitelm et Catifen (Ifen) - Avid ... Sextant

Multiplicité des normes de métadonnées
- européenne PRENV 12657
- américaine FGDC
- Iso 191 15

Unification ? Cf. recommandations CNIG

Exemple de Sextant ...

ANNEXE 15

L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques

P. GROSJEAN

L'étude des séries à long terme : outils et méthodes statistiques

Philippe Grosjean - DEL/AO

Plan

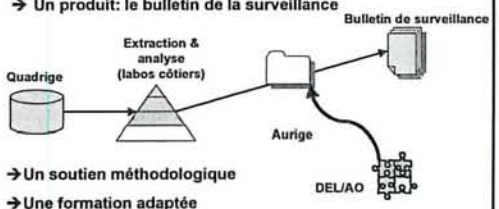
- Données
  - → Réseaux & base QUADRIGE
- Outils standards pour les réseaux
  - → Le projet AURIGE
  - → Exemples de traitements
- Outils de recherche
  - → Décomposition des séries
  - → Segmentation des séries
  - → Analyse d'événements
- Conclusion

Données: réseaux & Quadrige

- Les données disponibles dans Quadrige
  - → REMI: depuis 1989, 350 points de surveillance
  - → REPHY: depuis 1987, 30-40 points flore totale
  - → RNO:
    - Hydrologie depuis 1974
      stratégie actuelle: grands estuaires, 2 campagnes / an
    - Contamination chimique depuis 1979
      80 points échantillonnés 4 fois par an
      Paramètres mesurés: Cu, Cd, Zn, Pb, Hg, PCB, HAP, Lindane, DDT et dérivés
  - → IGA: suivi écologique des centrales nucléaires
  - → Réseaux régionaux (ARCHYD, RSL,...)
  - → 2002: 2 millions d'enregistrements

Le projet AURIGE

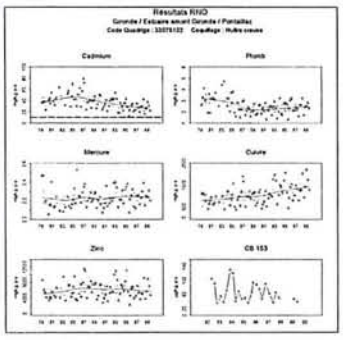
- Des outils pour les laboratoires côtiers
  - → Un produit: le bulletin de la surveillance



- → Un soutien méthodologique
- → Une formation adaptée

→ Le projet AURIGE vise à développer et transférer des outils pour la valorisation des données de la surveillance

Exemple (données RNO)



- Le script Splus fournit trace les graphes pour toutes les séries de manière homogène dans tous les bulletins
- La génération des graphes est automatisée (gain de temps)
- L'analyse de tendance est fournie également dans le package

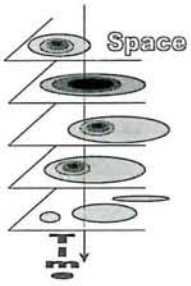
Analyse des séries spatio-temporelles

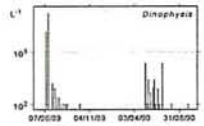
- Exemple de décomposition de séries
  - → Démonstration à l'aide de PASTECS
- Exemple de segmentation d'un signal
  - → Démonstration sur un transect
- Librairie PASTECS
  - → Une centaine de fonctions
  - → Régularisation / décomposition / segmentation / analyse / pas d'échantillonnage,...
  - → Sous Splus/R (gratuit)

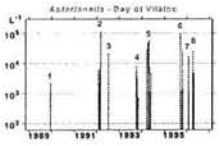
http://www.sciviews.org/pastecs

Analyse d'événements

Sampling process

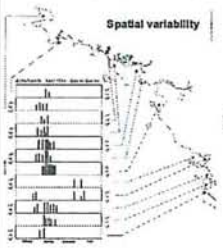


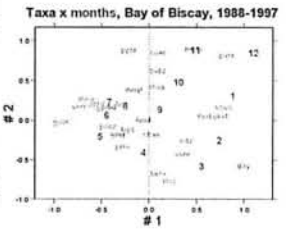




Analyse d'événements (2)

- 80.000 enregistrements => 5.000 événements
  - → Analyse facilitée et plus pertinente (« bruit de fond » éliminé)





Conclusions

- Diversité des outils disponibles
  - → QUADRIGE comme support de données
  - → Outils AURIGE / librairie PASTECS pour l'analyse
- Diversité des méthodes
  - → Analyse classiques
  - → Analyse événementielle
  - → Non exclusives mais plutôt complémentaires
  - → Liées aux échelles
- La ou les approches dépendent essentiellement des questions posée

ANNEXE 16

Les serveurs de données géographiques

M. BELLOUIS

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles

17 et 18 juin 2002

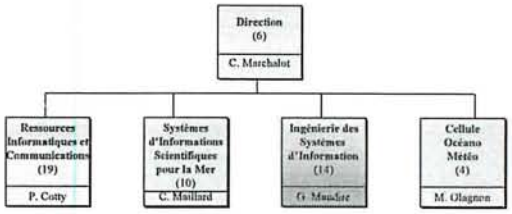
Ronce les Bains

ifremer

SEXTANT

Département TMSI/IDM

(52 agents, 2 sites)



ifremer

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

2

SEXTANT

- **RIC** : Réseau, systèmes, services, sécurité
  Nouveau calculateur, réseau fédérateur, sauvegarde/archivage, nouveaux services
- **SISMER** : Campagnes, Banques océanophysique & géophysique,
  Mater, Medar Catalogues européens, Medar, Coriolis, Réseau d'excellence
- **ISI** : Support SISMER, DEL, DRV, DRO, ...
  Coriolis, Serveur Sismer, Info SIH, Marel, SIA
- **COM** : Océano-météo
  Wasp, Ecomac, Golfe Gascogne,...

ifremer

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

3

SEXTANT

Des projets avec la DRV

- Projet Informatique SIH
  - 2002-2004 : un projet prioritaire du département
  - Faire un système cohérent et efficace à partir des 4 volets du SIH
- Accompagnement de DRV/RA pour son futur système d'information
  - Première étape avec REPAMO,
  - Aide à la définition du Système d'Information RA
- Ces projets s'inscrivent dans une démarche cohérente en matière
  - de choix et développement d'outils
  - d'organisation de données avec Coriolis, Quadrige, Marel, Sextant, ...

ifremer

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

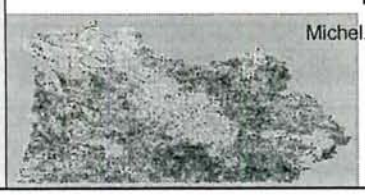
4

SEXTANT

Le serveur de données géographiques

Michel Bellouis

Michel.Bellouis@ifremer.fr



ifremer

SEXTANT

Présentation

- Sextant
- Description des données
- Organisation des données
- Diffusion de l'information
- Les sites thématiques
- Le futur

ifremer

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

6

1. Sextant

Sextant

Objectifs

- mettre en commun sur un serveur, les données géographiques de références intéressant les équipes IFREMER,
- organiser et apporter un support aux équipes IFREMER pour l'utilisation des données et logiciels géographiques

Sextant

Les choix techniques

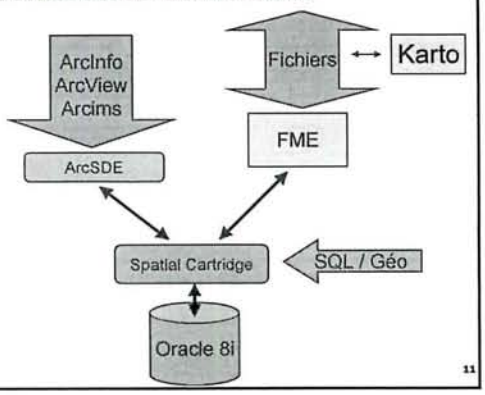
- Coordonnées géographiques
- Système géodésique unique : WGS84
- Métadonnées associées
- Norme FGDC
- Utilisation du réseau Ifremer

Sextant

Les choix techniques

- Stockage
  - Oracle 8i (SGBDR)
  - Spatial Cartridge pour l'indexation
- Chargement/Diffusion
  - ArcInfo (ESRI)
    - Chargement des données géographiques
    - Gestion centrale des métadonnées
  - ArcSde (ESRI)
  - FME (Safe Software)

L'architecture de Sextant



Sextant

ArcGis 8.1.2

- Nouveaux produits
  - ArcInfo pour l'administration Sextant
  - ArcView pour les utilisateurs
    - Geodatabases
    - Métadonnées
    - Organisation de données
  - Extension d'ArcView
    - Geostatistical Analyst

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

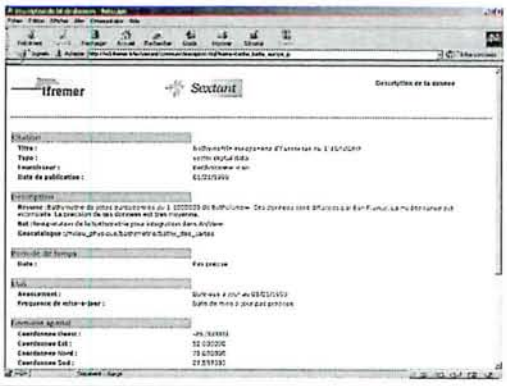
2. Description des données

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

Métadonnées : Exemple



SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

Les métadonnées : les normes

- Norme FGDC
  (Federal Geographic Data Committee)
- Norme ISO 19115

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

3. Organisation des données

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

Le géocatalogue

- Classement hiérarchique des données
- Etude Del/ao-Shom
- Mises à jour possible

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

ifremer

Le géocatalogue

- Activités_humaines
- Fond_de_cartes
- Milieu_biologique
- Milieu_physique
- Réglementation

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

4. Diffusion de l'information

19

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

Diffusion de l'information

L'accueil

Ifremer

Sextant

v1.5

Accès aux données

- Info des données océaniques
- Le géocatalogue
- recherche avancé des données océaniques
- recherche par mots clefs
- aide thématique

Site SIG

- Système d'Information Géographique
- DELIAO : Information Géographique et milieu marin littoral

Ifremer Cibmer

20

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

Diffusion de l'information

La liste des données

Ifremer Sextant

Liste des données indexées

Nom (aperçu)	Titre (description)	Résumé
bathy_bathy_europe_a	Bathymétrie européenne d'Eurocarto au 1:1000000	Bathymétrie de cette européenne au 1:1000000 de Bathylinnaeus. Ces données sont diffusées par Ifremer France. La méthodologie est succincte. La précision de ces données est très moyenne.
bathy_bathy_medit_a	Bathymétrie de la Méditerranée d'Eurocarto au 1:1000000	Bathymétrie de la Méditerranée européenne à la Mer Noire. Ce fichier a été obtenu par la fusion de deux courbes issues de Bathylinnaeus. Une est numérique au 1:1000000 issue tout de la base Bathylinnaeus au 1:1000000. Le tout de cette est également présent. Cet assemblage a été réalisé par Gildas Le Cozic à Ifremer/Brest
bathy_tr_europe_a	Trait de côte européen d'Eurocarto au 1:1000000	Trait de côte de couverture européenne de Bathylinnaeus dérivée par Ifremer France. La Méditerranée est incomplète. La précision de ce trait de côte est très moyenne
envi_sch77_a	Schémas Permanents du Littoral de 1977 (DERU de Rouen)	Cette donnée régionale est Projets littoral français complète différents informations disponibles dans les autres bases de données nationales (Old carto et Carto Land Cover). Ces Livraisons Permanents du Littoral est un véritable état de référence indispensable pour notre évolution des milieux littoraux et aider à la mise en application, pour l'évaluation régionale de la Loi littorale. DELL a été réalisé sur une bande de 5km de large depuis la laisse des plus hautes eaux et nous avons une correction entre, à partir des informations des documents cartographiques de DELL. Usage du sol vers 1977
gl_bathy_topo_a	Bathymétrie globale et des zones émergées au 1:50000	Ce fait de données contient : des océanides et le zero des cartes marines provenant de la zone 1:50000 du Shom, le tout de cette au 1:2500 du Shom. Ces données sont délivrées sous la forme : -Jeu fichier de type,

21

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

Diffusion de l'information

Un aperçu des données

Ifremer Sextant

Aperçu des données

Bathymétrie européenne d'Eurocarto au 1:1000000

22

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

Diffusion de l'information

Le module d'Extraction

Réserves de biosphère

En 1971 est lancé le programme M.A.B. (Homme et la Biosphère) de l'U N E S C O , visant, dans un cadre international et interdisciplinaire, à définir les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère. En 1974, le groupe de travail U N E S C O / P N U E a permis l'émergence du concept de réserve de biosphère, pour la mise en place d'un réseau mondial coordonné de parcs nationaux, réserves biologiques, et autres aires protégées utiles pour la conservation, la recherche et l'éducation. Un plan d'action des réserves de biosphère, établi en 1984, définit le cadre de cette procédure.

Source	Droit d'usage	Echelle
MNHN/REGMYN - MAB	Aucune utilisation commerciale de ces données n'est autorisée. Usage réservé à des fins scientifiques Convention d'usage numéro : 00/2 210 161. Pour toutes autres utilisations, veuillez contacter l'administrateur	1:50000

Extraction

Format du fichier : Shape ArcView

Projection : Données Géographiques

Système géodésique :

Zone (Obligatoire) :

Format Lat/Lon : xx.xxx (degrés décimaux)

23

SEXTANT

Journées Ressources Aquacoles
17 et 18 juin 2002 - Ronce les Bains

Ifremer

Diffusion de l'information

Les formats de fichiers disponibles

Réserves de biosphère

En 1971 est lancé le programme M.A.B. (Homme et la Biosphère) de l'U N E S C O , visant, dans un cadre international et interdisciplinaire, à définir les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère. En 1974, le groupe de travail U N E S C O / P N U E a permis l'émergence du concept de réserve de biosphère, pour la mise en place d'un réseau mondial coordonné de parcs nationaux, réserves biologiques, et autres aires protégées utiles pour la conservation, la recherche et l'éducation. Un plan d'action des réserves de biosphère, établi en 1984, définit le cadre de cette procédure.

Source	Droit d'usage	Echelle
MNHN/REGMYN - MAB	Aucune utilisation commerciale de ces données n'est autorisée. Usage réservé à des fins scientifiques Convention d'usage numéro : 00/2 210 161. Pour toutes autres utilisations, veuillez contacter l'administrateur	1:50000

Extraction

Format du fichier : Shape ArcView

Projection

Système géodésique

Zone (Obligatoire)

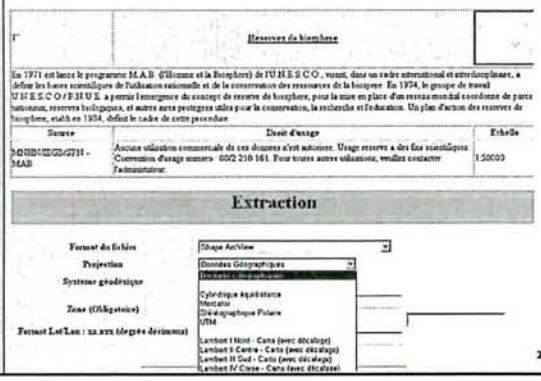
Format Lat/Lon : xx.xxx (degrés décimaux)

Shape ArcView
Fichier céramique ArcInfo (ouverture uniquement)
fichier E00 ArcInfo
Kartx
MapInfo
Tuile et d'échange MapInfo
AutoCad au format DXF (Release 10)
format d'échange CARIS
PNG
SVF
MicroStation et Intergraph Graphics Design System

24

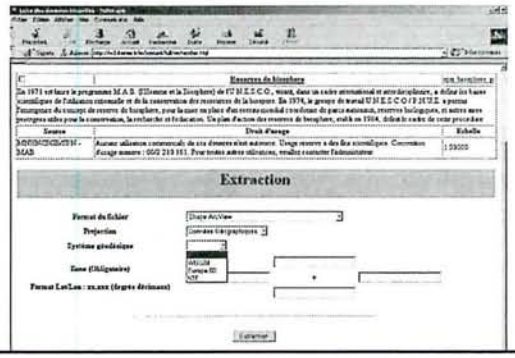
Les projections disponibles

Diffusion de l'information



Les systèmes géodésiques disponibles

Diffusion de l'information



L'extraction

Diffusion de l'information

5. Les sites thématiques

Les sites thématiques

- Projet localisé
  - Défi Gascogne, SIH
- Partage de données avec des partenaires extérieurs
  - Rebent, Cadastre conchylicole

Les sites thématiques

- Ajustent les données au projet
- Regroupent les données intéressant
  - le projet
  - une activité…
- Permettent une diffusion restreinte
- Autorisent une ouverture vers des partenaires extérieurs

Les sites thématiques

- Fonctionnement des sites thématiques
  - Un responsable Ifremer du site
  - Accès limités et contrôlés (login et mot de passe)
  - Possibilités d'accéder au site via l'Internet
    - Login et mot de passe
  - Accès uniquement en lecture
  - Conventions à mettre en place pour l'utilisation des données

Les sites thématiques

- Mise en route des Sites thématiques
  - Automne 2002 pour les extérieurs
- Négociations en cours avec l'IGN
  - Fourniture de listes
    - de correspondants extérieurs
    - d'organismes partenaires
    - d'objets géographiques concernés

6. Le futur

En projet

- Chargement de données maillées
- Gestions de données rasters
- Orthophotos

Questions

ANNEXE 17

Applications SIG

dans le département Ressources Aquacoles

O. LE MOINE

SIG RA

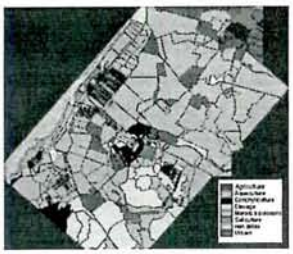
- **Aspects essentiels :**
  - Gestion spatiale et temporelle
  - Outil structurant par rapport à l'aire géographique couverte par le laboratoire
- **Point de rencontre des thèmes fédérateurs des mandats de programme:**
  - Observation - surveillance de la mer côtière
  - Modélisation des écosystèmes côtiers
  - Optimisation & développement des productions aquacoles (eau profonde, filières...)
  - Mise en valeur de la mer côtière
  - Avis aux administrations et conseil à la profession

Laboratoire Conchylicole de Poitou Charentes

SIG RA : Applications

- **Applications standards :**
  - Cartographie (zonage aquacole, marais)
  - Sélection de sites (eau profonde)
  - études ponctuelles (volumes de dragage...)
- **Applications particulières :**
  - Indices à la parcelle ostréicole
  - Échantillonnage spatialisé d'animaux en élevage
- **Échantillonnage spatio-temporel environnemental**
  - SIG embarqué
  - stratégie,hydrodynamisme, ressource trophique, Modèles biologiques, filtration
- **Outil de gestion spatialisée des stocks**
  - évaluation spatialisée des stocks en élevage

Cartographie : usage du marais maritime 17



Organisation des données pour le développement d'un SIG pour la culture d'huître en eau profonde

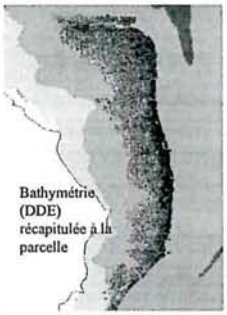
LCPC\CREMA\SILLAGE Ifremer

Zones potentielles sélectionnées pour la culture d 'huîtres en eau profonde.

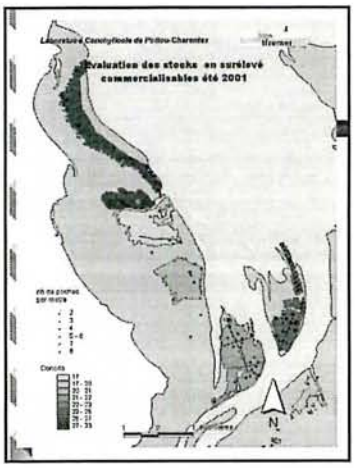
Résultat du croisement de 25 couches d ' information (e.g., profondeur, nature du sédiment, restrictions réglementaires, contraintes environnementales.,

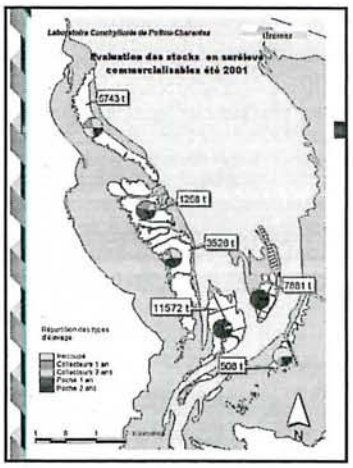
LCPC\CREMA\SILLAGE

Applications d 'indices à la parcelle ostréicole



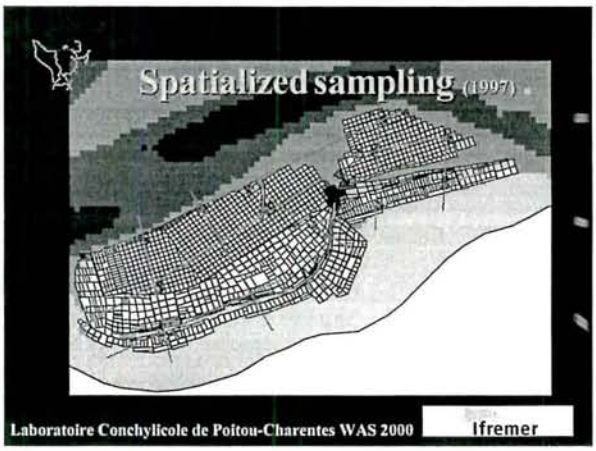
Bathymétrie (DDE) récapitulée à la parcelle

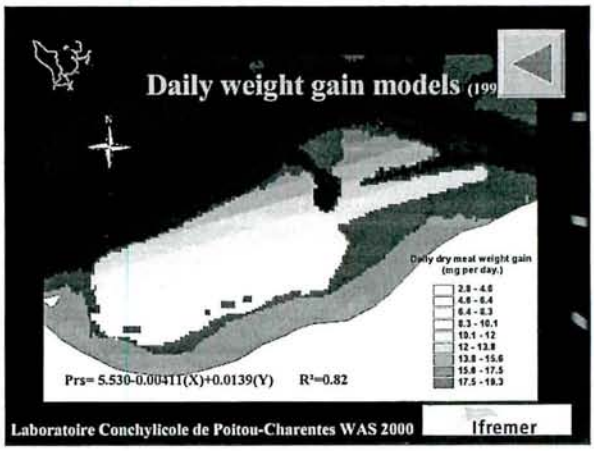


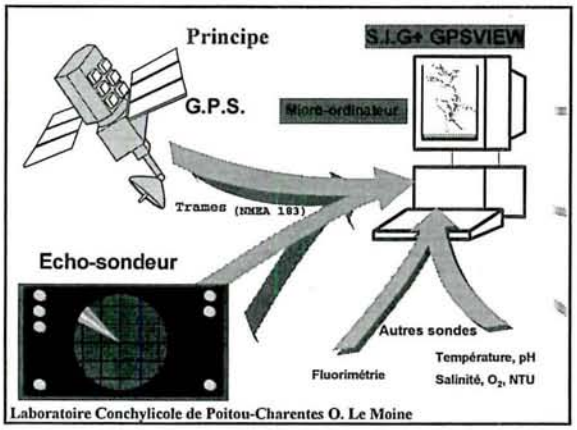


Perspectives

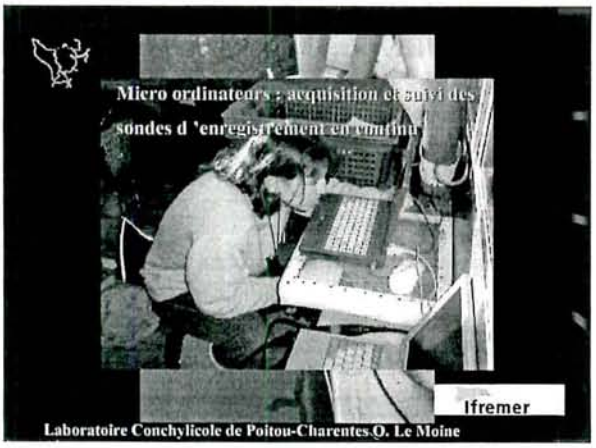
- Lien avec sorties modèles
- Problèmes de développement

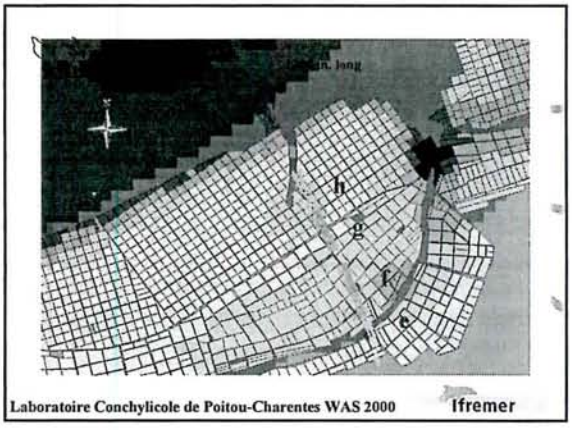

Spatialized sampling (1997)
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes WAS 2000
Ifremer


Daily weight gain models (199
Daily dry meat weight gain (mg per day.)
2.8 - 4.6
4.6 - 6.4
6.4 - 8.3
8.3 - 10.1
10.1 - 12
12 - 13.8
13.8 - 15.6
15.6 - 17.5
17.5 - 19.3
Prs= 5.530-0.0041I(X)+0.0139(Y) R²=0.82
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes WAS 2000
Ifremer

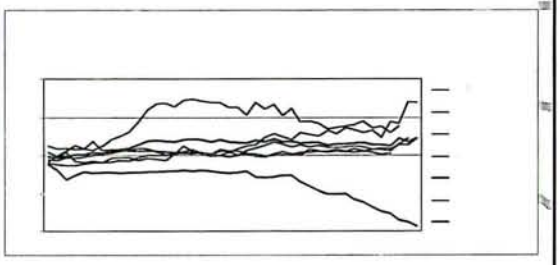

Principe
S.I.G+ GPSVIEW
G.P.S.
Micro-ordinateur
Tramos (NMEA 183)
Echo-sondeur
Autres sondes
Température, pH
Salinité, O2, NTU
Fluorimétrie
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes O. Le Moine

Matériel
Ifremer
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes O. Le Moine

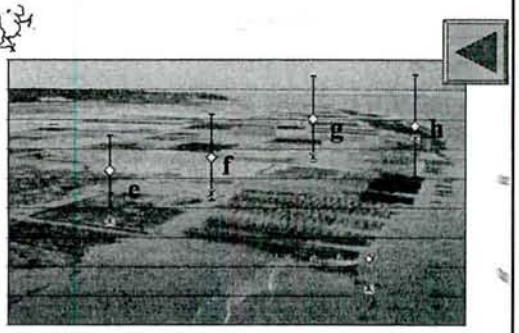

Micro ordinateurs : acquisition et suivi des sondes d 'enregistrement en continu
Ifremer
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes O. Le Moine


h
g
f
e
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes WAS 2000
Ifremer

Chlorophylle a measures along the transect



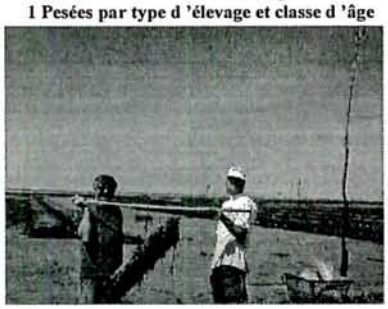
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes WAS 2000 Ifremer



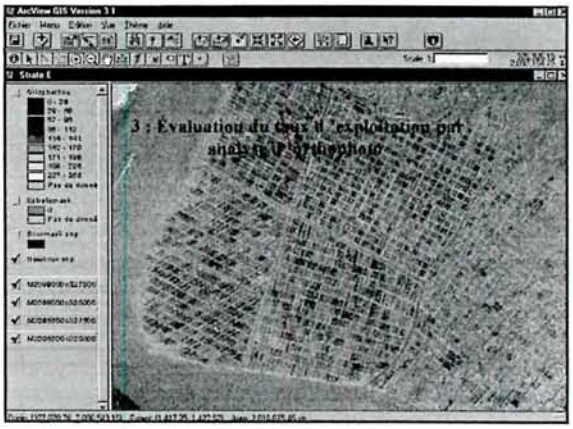
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes WAS 2000 Ifremer

Stocks Moules
Tirage aléatoire
Échantillonnage :
mesures
prélèvement
comptages

Stocks huîtres : échantillonnage terrain
1 Pesées par type d 'élevage et classe d 'âge



2 Estimation des longueurs occupées par
type d 'élevage et par classe d 'âge



Extraction des valeurs de
la mosaique photo dans
la zone définie

ANNEXE 18

Evolution à moyen terme d'un écosystème estuarien, le Bassin de Marennes-Oléron

P. SOLETCHNIK

Évolution à moyen terme d'un écosystème Estuarien : Le Bassin de Marennes - Oléron

Démarche de la recherche

Dans un contexte d'étude de *C.gigas*, espèce d'élevage constituant un maillon secondaire de l'écosystème estuarien ...

... dont la compréhension de la biologie dépend complètement de celle de l'environnement estuarien ...

... qui change au fil des décennies ...

Comment réagit *C.gigas* dans ce contexte dynamique ?

Les moyens

Bases de donnée sur *C.gigas :*

- le réseau croissance développé dans le BMO depuis 1986.
- pêches de larves dans le BMO (plus de 50 ans de données...) (reproduction, saison de ponte...)

Bases de données sur l'environnement des élevages

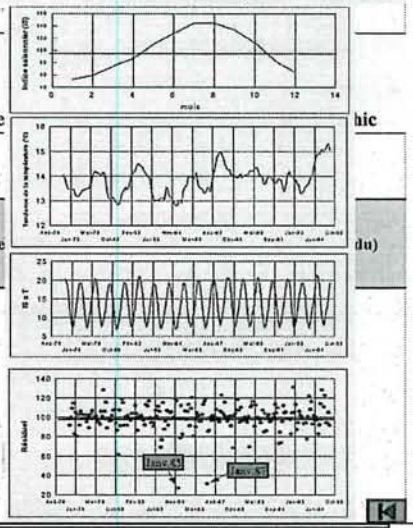
Utilisation de la base de données hydrobiologiques (base Razlec ~ 30 ans)

Utilisation de la base de données météo régionale (~ 50 ans)

- modèles de décomposition des séries chronologiques

exemple

Exemple de décomposition d'une série chronologique
(Température dans le Bassin de Marennes Oléron entre 1973 et 1995)



Les résultats

Changements météorologiques à moyen terme

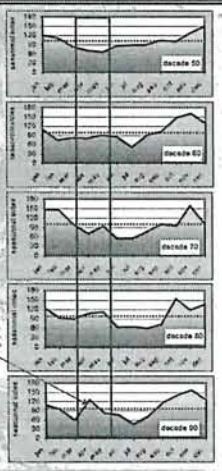
Évolution de l'hydrologie dans l'écosystème BMO

Les changements à l'échelle primaire

Les changements à l'échelle secondaire

donc

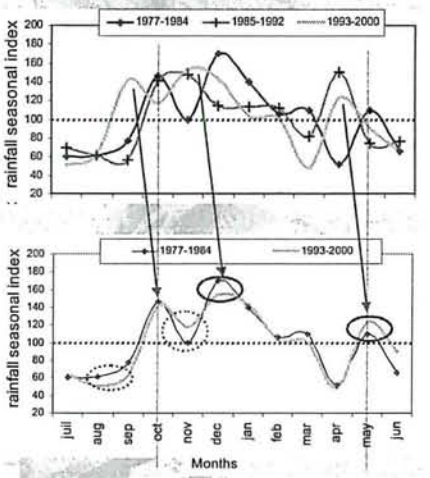
...en terme de saisonnalité



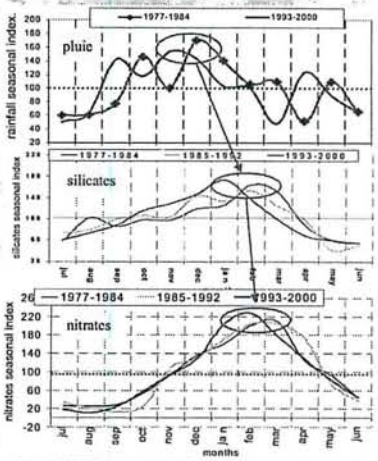
Émergence d'une saisonnalité printanière

Indices saisonniers de la pluviométrie des 5 dernières décades au niveau du Bassin de Marennes Oléron *(données de Météo-France).*

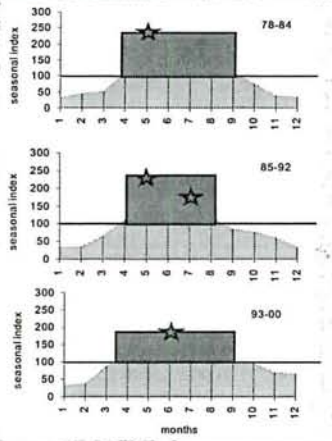
...en terme de saisonnalité (suite)



Saisonnalité de l'apport de sels nutritifs

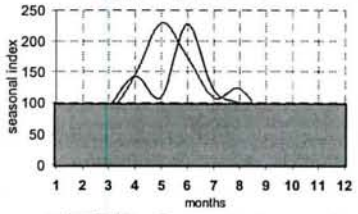


Les changements à l'échelle primaire



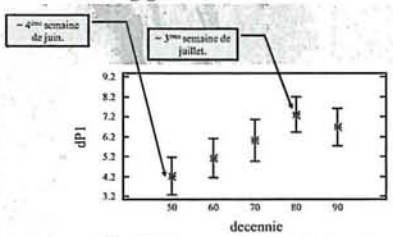
Evolution des indices saisonniers de la chlorophylle *a* entre 1978 et 2000 (3 périodes de 7 ans).

Les changements à l'échelle primaire (suite)



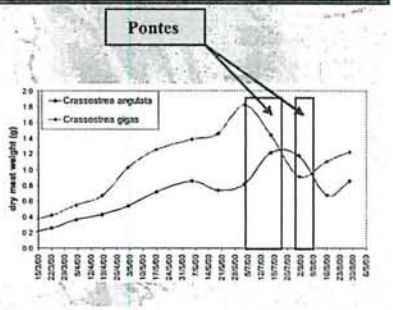
Décalage du début de saison de ponte au fil des décades

Tendance au retard de la saison de ponte de *C.gigas* dans le bmo



Évolution du "dP1" selon les décennies *[(*). Echelle ordinale de 1 à 16. "1": première semaine de juin, et "16" : dernière semaine de septembre].*

Vérification expérimentale en 2000

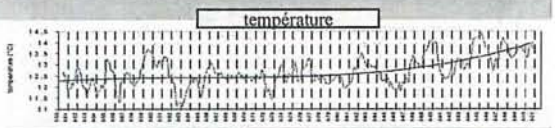


Évolution du poids sec au printemps - été pour les 2 taxons

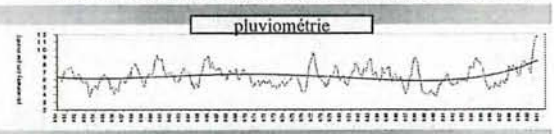
Pertes de poids sec de *C.angulata* et *C.gigas*, tendent à montrer que la ponte de *C.gigas* est antérieure à celle de *C. angulata* ...

Tendances météo sur 50 ans...

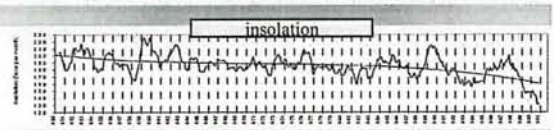
température



pluviométrie

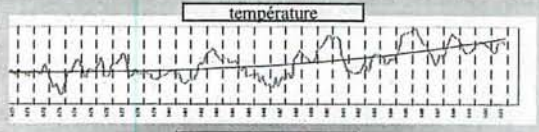


insolation

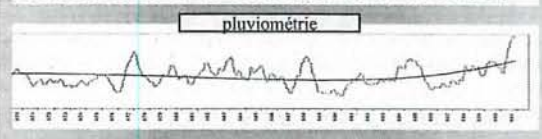


Tendances météo sur 30 ans...

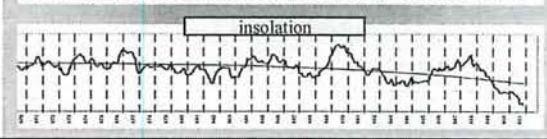
température



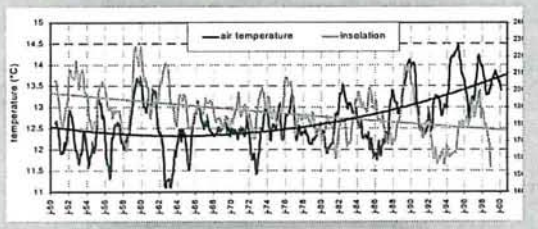
pluviométrie



insolation

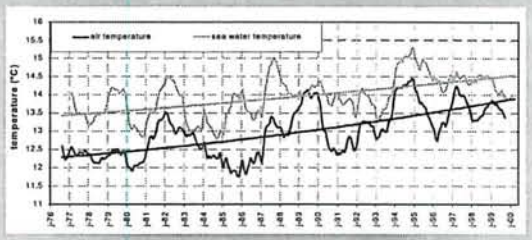


Relation température - insolation



Évolution inverse des tendances température et insolation

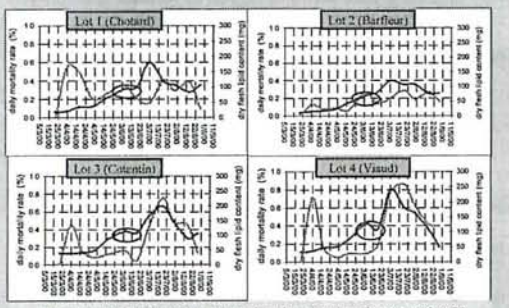
Relation étroite entre température de l'air et température de l'eau



expérimentation sur 4 cheptels en 2000

taux de mortalité journalière

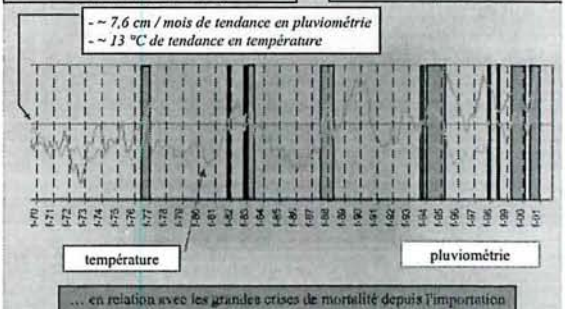
teneur en lipides de la chair (mg/g)



... un aspect du dysfonctionnement dans le processus de maturation ??...

Tendances de la température de l'air et de la pluviométrie dans le BMO sur 30 ans *(données Météo France)*

Les épisodes climatiques de forte température et de forte pluviométrie...



... en relation avec les grandes crises de mortalité depuis l'importation de *C. gigas* sur le littoral atlantique

Changements météorologiques à moyen terme

Évolution au fil des décades de la **température** qui augmente et de l'**insolation** qui diminue.
La réponse s'accélère depuis 15 ans.

Parallèlement le régime des **précipitations** se trouve modifié dans sa saisonnalité :
décalage de la saisonnalité
et
déséquilibre de l'abondance saisonnière).

La tendance est en hausse sensible ces dernières années

Perspectives...

Analyses météorologiques à effectuer sur d'autres bassins conchylicoles afin d'introduire une échelle spatiale large *(eg. littoral atlantique français)*

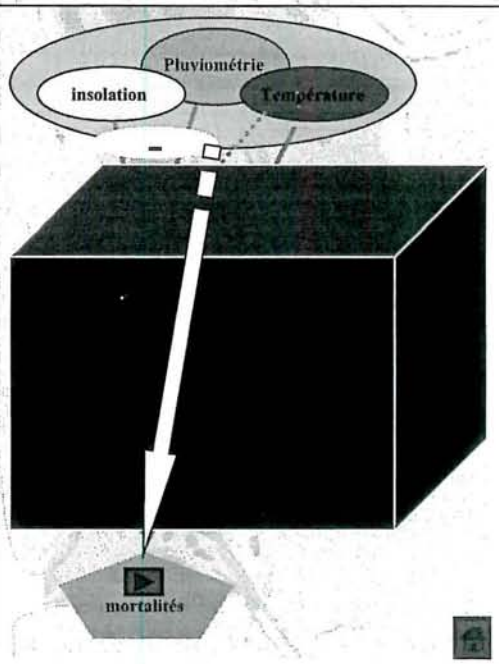
Évolution de l'hydrologie dans l'écosystème BMO

Et une augmentation significative de la température de l'eau de mer dans le BMO *(mise en évidence depuis plusieurs années, avec une gradient thermique positif vers le Sud - Est du bassin)*

Avec une modification de la saisonnalité d'apport des sels nutritifs en provenance du bassin versant

Les changements à l'échelle primaire

La saisonnalité d 'apparition des blooms phyto se trouve modifié ...

Question...

Existe-t-il une évolution qualitative dans la représentation des taxons phytoplanctoniques disponibles pour les bivalves du fait de l'évolution de l 'environnement physico chimique de l'eau estuarienne ?