
La mytiliculture dans le "Pertuis Breton"

Synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992

Marie-José DARDIGNAC-CORBEIL

DRV/RA de La Rochelle - L'Houmeau - Ifremer

Résumé

Les études réalisées dans le Pertuis Breton entre 1980 et 1992 ont montré que la croissance des moules était constamment moins bonne dans les bouchots situés les plus près de la côte, ceci à temps d'exondation identique. Une influence des courants et de l'importance de la biomasse n'a pu être mise en évidence. En revanche, les croissances médiocres apparaissent fortement liées à la qualité du milieu et en particulier à l'abondance des particules en suspension.

L'auteur expose ensuite les travaux qu'il serait nécessaire de réaliser pour confirmer et compléter ces résultats : acquisition de données permettant une meilleure connaissance du milieu, adjonction de paramètres non pris en compte, recherche des facteurs influençant la qualité des mollusques.

Enfin, une analyse est faite des études qu'il faudrait entreprendre en vue d'améliorer la production mytilicole du Pertuis Breton. Il s'agit notamment d'assurer un captage régulier, d'obtenir une croissance optimale et de connaître la biomasse maximale de mollusques pouvant être cultivée dans le Pertuis sans nuire aux activités existantes, qu'il s'agisse de conchyliculture ou de pêche.

Abstract

The studies carried out between 1980 and 1992 in the "Pertuis Breton" showed that mussels growth was systematically reduced near the coastline for an identical immersion time. No relationship was established between current pattern, stocking biomass and growth results. In contrast, poor growth was strongly correlated to seawater quality and especially to high seston load.

The author suggests further studies which could confirm and complement these results: a better environment understanding through data acquisition, inclusion of additional parameters, studies on factors affecting shellfish quality.

Furthermore, specific studies are proposed which are aimed at optimising mussel production in the Pertuis Breton. This includes a constant spat recruitment strategy and achieving an optimal growth. Moreover, maximum growable stocking biomass should be known so that it does not interfere with existing activities like oyster farming or fisheries.

Mots-clés : Pertuis Breton, *Mytilus edulis*, bouchot, croissance.

Keywords : Pertuis Breton, *Mytilus edulis*, bouchot, growth.

ANNALES
DE LA
SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES
DE LA
CHARENTE-MARITIME

Supplément, octobre 2004

Publié avec le concours du conseil Général de la Charente-Maritime



LA MYTILICULTURE DANS LE PERTUIS BRETON

Synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992

par

Marie-José DARDIGNAC-CORBEIL

Directeur de recherches à l'IFREMER,
laboratoire DRV/RA de La Rochelle - L'Houmeau

Annales de la Société des Sciences Naturelles de la Charente-Maritime

Supplément, octobre 2004

Résumé

Les études réalisées dans le Pertuis Breton entre 1980 et 1992 ont montré que la croissance des moules était constamment moins bonne dans les bouchots situés les plus près de la côte, ceci à temps d'exondation identique. Une influence des courants et de l'importance de la biomasse n'a pu être mise en évidence. En revanche, les croissances médiocres apparaissent fortement liées à la qualité du milieu et en particulier à l'abondance des particules en suspension.

L'auteur expose ensuite les travaux qu'il serait nécessaire de réaliser pour confirmer et compléter ces résultats : acquisition de données permettant une meilleure connaissance du milieu, adjonction de paramètres non pris en compte, recherche des facteurs influençant la qualité des mollusques.

Enfin, une analyse est faite des études qu'il faudrait entreprendre en vue d'améliorer la production mytilicole du Pertuis Breton. Il s'agit notamment d'assurer un captage régulier, d'obtenir une croissance optimale et de connaître la biomasse maximale de mollusques pouvant être cultivée dans le Pertuis sans nuire aux activités existantes, qu'il s'agisse de conchyliculture ou de pêche.

Mots-clés :

Pertuis Breton, *Mytilus edulis*, bouchot, croissance.

Abstract

The studies carried out between 1980 and 1992 in the "Pertuis Breton" showed that mussels growth was systematically reduced near the coastline for an identical immersion time. No relationship was established between current pattern, stocking biomass and growth results. In contrast, poor growth was strongly correlated to seawater quality and especially to high seston load.

The author suggests further studies which could confirm and complement these results: a better environment understanding through data acquisition, inclusion of additional parameters, studies on factors affecting shellfish quality.

Furthermore, specific studies are proposed which are aimed at optimising mussel production in the Pertuis Breton. This includes a constant spat recruitment strategy and achieving an optimal growth. Moreover, maximum growable stocking biomass should be known so that it does not interfere with existing activities like oyster farming or fisheries.

Keywords :

Pertuis Breton, *Mytilus edulis*, bouchot, growth.

SOMMAIRE

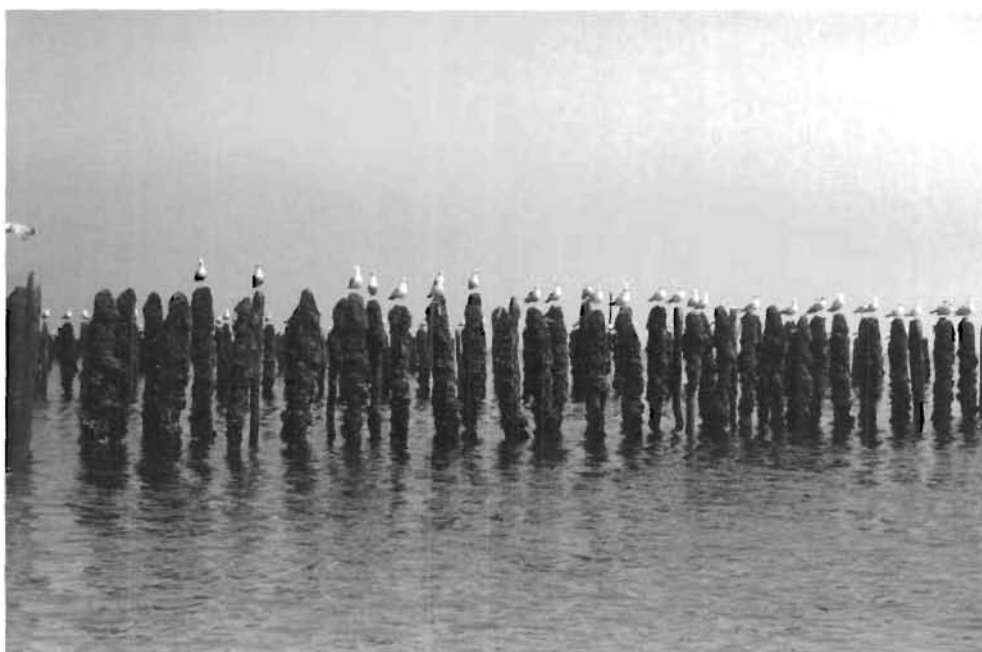
AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	11
I. LA SEDIMENTATION ET LES COURANTS DANS LE PERTUIS BRETON	13
1. LA SEDIMENTATION	13
2. LES COURANTS	15
II. ETUDE DE LA CROISSANCE DES MOULES DANS LE PERTUIS BRETON	16
1. STRATEGIES ET METHODES	16
1.1. Croissance linéaire et pondérale. Techniques de suivis utilisées ..	16
1.2. Biométrie	19
1.3. Indice de condition	20
1.4. Mortalité	20
1.5. Infestation par <i>Mytilicola</i>	20
2. RESULTATS	21
2.1. Relations allométriques	21
2.1.1. Relations longueur, hauteur, épaisseur	21
2.1.2. Taxinomie	22
2.1.3. Relation taille - poids	23
2.2. La croissance	24
2.2.1. La croissance en fonction du temps d'émerision	24
2.2.2. Croissance saisonnière	26
2.2.3. Variabilité de la croissance selon les sites	27
2.2.4. Variabilité de la croissance selon les années	28
2.3. Indice de condition	29
2.4. Mortalité	30
2.4.1. Estimation sur pieux	30
2.4.2. Méthode des paniers	31
2.5. Infestation par <i>Mytilicola</i>	33
2.5.1. Relations avec quelques paramètres	33
a) L'âge et la taille	33
b) La saison	34
c) Le secteur	35
2.5.2. Evolution depuis 1960	36

III. ESTIMATION DES BIOMASSES DE MOULES EN ELEVAGE DANS LES BOUCHOTS	
1. RAPPEL DE LA METHODE	37
2. RESULTATS	40
2.1 Détermination de la période optimale d'échantillonnage	40
2.2 Biomasses en élevage	41
2.3 Evolution des variables du volume dans des secteurs ayant des rendements différents	44
3. DISCUSSION	47
4. CONCLUSIONS	48
IV. HYDROLOGIE	48
1. RAPPEL DES TRAVAUX ANTERIEURS	48
2. STRATEGIES ET METHODES UTILISEES	49
2.1. Prélèvements	49
2.2. Paramètres suivis et méthodes utilisées	49
3. RESULTATS	49
3.1. Comparaison surface et fond et variabilité journaliere	50
3.2. Evolution moyenne et relations des paramètres entre eux	51
3.3. Caractéristiques des stations étudiées	54
V. RELATIONS CROISSANCE - ENVIRONNEMENT	56
1. CROISSANCE ET MILIEU	56
2. CROISSANCE ET BIOMASSES	56
3. DISCUSSION	57
VI. CONCLUSIONS	58
VII. AUTRES RECHERCHES A ENVISAGER	60
ANNEXE 1 : PERTUIS BRETON, COURANTOLOGIE ET IMPACT DES BOUCHOTS SUR LES COURANTS	63
1. ETUDE 1959	63
2. ETUDE 1987	64
2.1. La campagne de mesures sur le terrain	65
2.1.1. Caractéristiques de la marée	65
2.1.2. Les courants	65
2.1.3. Evolution de la sédimentation	66
2.2. Détermination des coefficients de pertes de charge	67
2.3. Résultats des essais sur modèle mathématique	69
ANNEXE 2	71
ANNEXE 3	73
BIBLIOGRAPHIE	75

AVANT PROPOS

Les études réalisées sur le Pertuis Breton sont peu nombreuses et celles relatives à la mytiliculture de ce bassin encore plus rares. A l'heure actuelle, cette activité se heurte à des difficultés qu'il lui faut résoudre afin de pouvoir d'abord se maintenir, ensuite s'étendre. Les travaux relatés dans ce rapport permettent d'apporter une explication aux mauvais rendements constatés dans certains secteurs. Mais les obstacles qui freinent le développement de la mytiliculture dans ce Pertuis ne sont pas pour autant surmontés et de nouvelles recherches doivent être entreprises.

Un humoriste (Yvan Audouard) a écrit : *"Il y a les êtres humains qui continuent de se poser des questions et ceux qui ont trouvé depuis toujours la réponse à des questions qu'ils ne se sont jamais posées"*. Restons dans le premier groupe et gardons-nous d'appartenir jamais au second.



LA MYTILICULTURE DANS LE PERTUIS BRETON

Synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992

"La plupart des consommateurs se figurent que les belles moules que l'on sert journellement sur leurs tables proviennent, comme les huîtres, des bancs naturels où elles vivent à l'état sauvage. Ils ignorent par quel artifice l'industrie humaine donne à ce mollusque, élevé par ses soins, la taille et le bon goût qui le rendent si préférable à la moule maigre, petite, âcre, souvent malsaine et habitée par un crustacé répugnant dont les rochers et les vases de nos côtes sont peuplés" (M.Coste, 1861. Voyage d'exploration sur le littoral de la France et de l'Italie).

INTRODUCTION

Situé entre le littoral du sud de la Vendée et la côte nord de l'île de Ré, le Pertuis Breton couvre une superficie d'environ 300 km² (350 si on y inclut l'anse de l'Aiguillon). Les fonds situés à l'est sont, pour la plupart, à une profondeur inférieure à 5 mètres par rapport au zéro des cartes marines ; à l'ouest ils se situent autour de 10 mètres, excepté dans la fosse orientale de Chevarache où ils sont supérieurs à 22 mètres et peuvent même atteindre 58 mètres (fig.1).

Le Pertuis est largement ouvert au nord-ouest sur le golfe de Gascogne par une ouverture de 10 km et communique au sud avec le Pertuis d'Antioche par le Courreau de La Pallice large de 2 km. Les apports d'eau douce sont relativement peu importants. Ils sont dus principalement à la Sèvre niortaise et au Lay dont les débits maximaux en hiver n'excèdent guère 100 m³ par seconde.

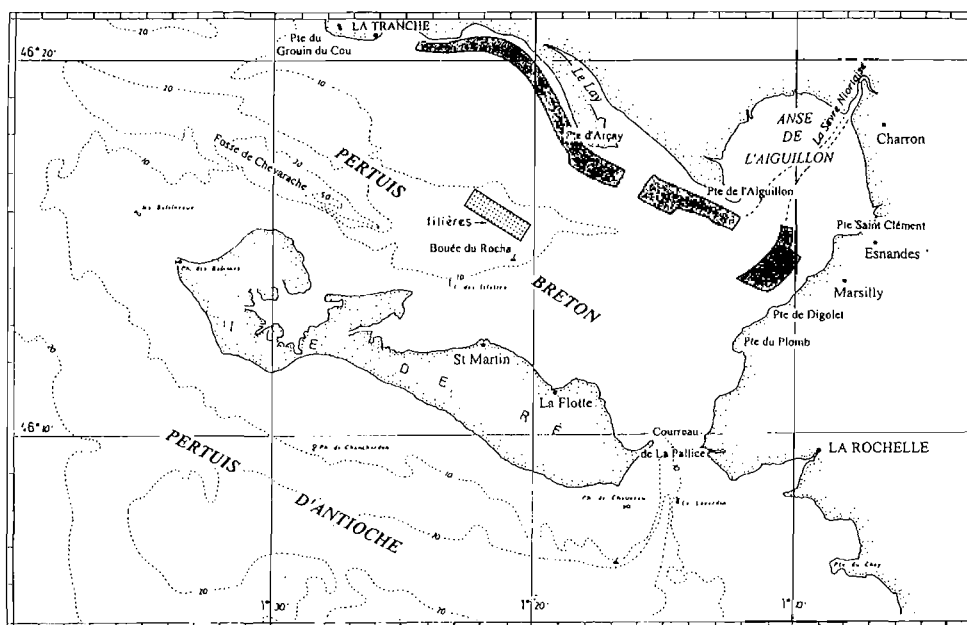


Fig. 1 - Le Pertuis Breton. Emplacement des bouchots.

L'élevage des moules (*Mytilus edulis* L.) est pratiqué sur bouchots. La technique a été décrite par Dardignac-Corbeil (1986). Rappelons-en brièvement les principes. Un bouchot est une ligne de pieux plantés dans le sol. Sa longueur et le nombre de pieux qui le constituent sont déterminés par la Réglementation. Les bouchots sont installés dans la zone de balancement des marées, généralement entre les cotes -0.70 et +1.50 mètre par rapport au zéro des cartes : plus haut, les moules trop longtemps émergées ne poussent pas ; plus bas, les pieux ne peuvent être correctement travaillés car ils ne découvrent pas suffisamment. Dans le Pertuis Breton les bouchots représentent une longueur avoisinant actuellement 337 kilomètres. ⁽¹⁾

Les différentes étapes de l'élevage sont les suivantes. Les jeunes moules (naissain) se fixent, au terme de leur vie pélagique, soit directement sur des pieux préalablement mis à nu, soit sur des cordes disposées à cet effet et installées ensuite sur des pieux dégarnis. Au fur et à mesure qu'elles grossissent, ces moules tendent à former des paquets qui s'écartent du support et risquent de tomber. Encore trop petites pour être commercialisées, elles sont prélevées et mises dans des filets tubulaires, les boudins, qui sont enroulés sur de nouveaux pieux. La taille marchande, quatre centimètres, peut être atteinte en un an seulement dans le meilleur des cas ; en dix-huit mois à deux ans lorsque les conditions sont moins favorables. La récolte, effectuée naguère essentiellement à la main, est faite maintenant à l'aide de la "pêcheuse", équipement qui permet de prélever rapidement la totalité des animaux fixés sur le pieu.

La production nationale avoisine 60 000 tonnes, chiffre qui peut être considérablement augmenté certaines années lorsque les apports de moules de pêche sont importants. Cependant, cette quantité ne satisfait pas la demande et les importations représentent généralement chaque année entre 30 000 et 40 000 tonnes. Avec une production se situant entre 7 000 et 9 000 tonnes, le Pertuis Breton se place au deuxième rang des bassins mytilicoles français. En outre, il fournit la plupart des jeunes moules qui sont élevées en Bretagne et en Normandie, ces régions ne produisant pas de naissain. ⁽¹⁾

Créé en 1971, le laboratoire conchylicole de La Rochelle avait pour mission principale d'acquérir des connaissances utiles à l'amélioration et au développement de la mytiliculture dans le Pertuis Breton. Comme tout élevage, cette activité est confrontée à des difficultés d'approvisionnement en juvéniles, aux aléas de la croissance et à des mortalités anormales. C'est ainsi qu'au début des années 60 le cheptel a été presque entièrement anéanti par une mortalité attribuée au parasite *Mytilicola intestinalis*, catastrophe dont la mytiliculture charentaise a eu beaucoup de mal à se relever. Concernant l'approvisionnement en jeunes individus, ce n'est que récemment que le captage sur bouchots a commencé à présenter un caractère de plus en plus aléatoire. L'analyse faite en 1971/1972 a montré que si certaines années étaient caractérisées par des mortalités importantes ou des recrutements déficients, ces phénomènes étaient néanmoins épisodiques et, excepté le cas cité plus haut, n'avaient pas mis jusqu'alors la profession en danger. En revanche, les mauvais rendements observés dans certains secteurs et liés à une croissance insuffisante étaient particulièrement préoccupants. En conséquence, les aspects "mortalité" et "recrutement" furent jugés, à l'époque, non prioritaires et les recherches entièrement axées sur les problèmes de croissance.

Les premières observations faites au cours des années 70 ont eu pour objectif de confirmer l'existence de bouchots à rendements différents, de préciser leur emplacement, d'évaluer l'importance de ces différences et d'en rechercher les raisons. Partant du principe que la croissance des animaux dépend en grande partie de la

⁽¹⁾ Données 1996

quantité de nourriture dont ils peuvent disposer, les recherches ont porté sur les facteurs susceptibles d'avoir une influence, qui peuvent en outre être synergiques, à savoir :

- une richesse plus ou moins grande du milieu en éléments nutritifs,
- la distribution par les courants de ces derniers,
- la densité des moules qui, si elle est trop importante, réduit la part disponible pour chaque individu.

Les résultats ont fait l'objet de deux communications au Conseil International pour l'Exploration de la Mer (Dardignac-Corbeil et Feuillet, 1974 ; 1975). Des différences de rendement selon les secteurs ont bien été mises en évidence mais il n'a pas été possible de définir les facteurs qui en étaient responsables. Toutefois, divers indices donnaient à penser que les paramètres les plus importants étaient les courants et la densité des moules. Pour ce qui est des courants, nous supposons qu'en pénétrant dans les bouchots, ils étaient ralentis au point de ne plus pouvoir assurer correctement le transport des éléments nutritifs mais qu'une implantation plus judicieuse des pieux devrait probablement permettre une amélioration. Une étude fut alors sous-traitée au Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) et réalisée entre 1985 et 1987. Quant à la densité des moules, comme elle n'avait jamais fait l'objet d'estimations, il a tout d'abord fallu mettre au point une stratégie d'échantillonnage, ce qui fut réalisé en 1987. Enfin, à partir de cette même année, les caractéristiques du milieu furent aussi étudiées.

Nous exposerons tout d'abord les connaissances sur la sédimentation et les courants dans le Pertuis Breton. Puis nous rapporterons les résultats des études de croissance, des estimations de biomasses et des suivis du milieu. Nous tenterons ensuite d'explorer une éventuelle relation entre la croissance et certains facteurs.

I. LA SEDIMENTATION ET LES COURANTS DANS LE PERTUIS BRETON

1. LA SEDIMENTATION

La figure 2 visualise la carte sédimentaire du Pertuis Breton établie par Hily (1976). Selon Lorin (1970), les sédiments du Pertuis Breton ont une origine essentiellement marine. En effet, la plupart se sont accumulés sur la plateforme continentale avant la transgression flandrienne. Toutefois, une partie des vases provient de la Gironde et de l'érosion des falaises voisines. Les apports de la Sèvre et du Lay sont peu importants, ce qui n'est pas surprenant vu les faibles débits de ces deux rivières.

Le mode de transport et les lieux de dépôt des sédiments dépendent de leur taille. Les sables moyens et grossiers, repris par les houles, se déplacent par saltation et roulement et se répartissent sur les hauts fonds et les bordures. Leur cheminement est essentiellement littoral. Ils progressent le long de la côte vendéenne et viennent engraisser la Pointe d'Arçay (un crochon tous les onze ans). Le Lay n'est pas une barrière au transfert de ces matériaux qui passent vers la Pointe de l'Aiguillon, les plus fins d'entre eux se répandant ensuite dans l'anse.

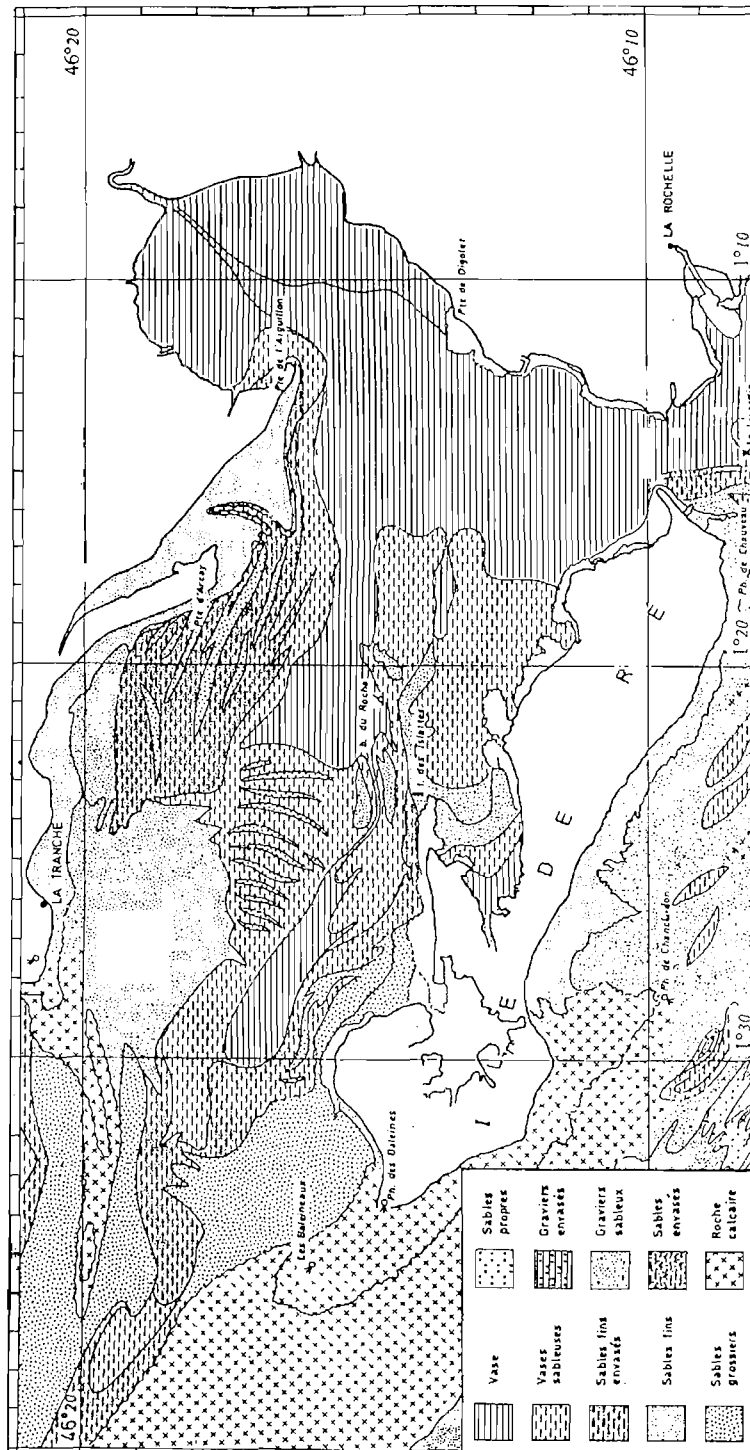


Fig. 2 - Carte sédimentaire du Pertuis Breton d'après Hily (1976).

Les sables fins et les vases sont repris aussi par les houles mais transportés en suspension dans l'eau par les courants. La topographie du fond n'intervient donc pas sur les parcours qu'ils effectuent; elle intervient par contre sur les lieux de sédimentation qui sont situés dans les zones abritées ou profondes, là où la houle ne peut plus remettre en suspension par suite d'une trop grande perte d'énergie. Les caractéristiques de la marée (vitesse maximum du flot et du jusant autour de la basse mer) font que la période qui encadre la basse mer est une période de turbulence. Les éléments sont donc repris en fin de jusant, maintenus en suspension par les courants de flot et se décantent au moment des étales de pleine mer. Comme les courants maxima de flot sont supérieurs à ceux de jusant, les éléments se déposent en amont de leur position d'origine : il y a progression des vases dans la direction du flot. A l'inverse du Lay, la Sèvre joue le rôle d'une barrière de part et d'autre de laquelle se réglerait la sédimentation : celle-ci résulterait sur la rive droite des apports en provenance du littoral aiguillonnais et sur la rive gauche de l'accumulation des particules fines venant de la Pointe de Loix et de la région de Sablonceaux.

2. LES COURANTS

De nombreuses mesures courantologiques ont été effectuées en baie de l'Aiguillon, dans le Pertuis Breton et le Courreau de La Pallice par différents organismes. Elles ont été utilisées pour régler le modèle mathématique des Pertuis Charentais développé par le LCHF. Le résultat détaillé des études réalisées par ce dernier en 1959 et 1987 est rapporté dans l'annexe 1. Les observations *in situ* et les résultats des simulations sur le modèle ont montré qu'on pouvait admettre le schéma général de circulation des eaux, en flot, suivant :

- au sud-est de la Sèvre niortaise et de la bouée du Rocha les eaux proviennent du Courreau de La Pallice;
- au nord-ouest elles arrivent de l'ouverture du Pertuis Breton sur le golfe de Gascogne;
- la morphologie de la baie de l'Aiguillon ne favorise pas la circulation transversale des eaux du nord-ouest vers le sud-est ou inversement et contribue au non-mélange des deux masses liquides.

Les temps de renouvellement des masses d'eau ont été estimés ultérieurement à partir de mesures effectuées par le LCHF et d'un modèle courantologique élaboré par Leahy (voir Barillé, 1996). Deux tracés ont été testés. Le premier génère un seul système courantologique : l'eau océanique entrant dans le Pertuis pénètre jusqu'à l'extrémité sud-est, puis ressort en longeant la côte de l'île de Ré. Le temps de renouvellement serait alors de l'ordre de 30 jours. Le second génère deux systèmes occupant chacun la moitié du Pertuis, la séparation se situant sur une ligne reliant grossièrement la Pointe d'Arçay à Saint Martin de Ré. Dans la partie nord-ouest les temps de résidence seraient sensiblement identiques aux précédents alors que dans la partie sud-est ils seraient supérieurs à 130 jours.

L'étude effectuée par le LCHF en 1987 a abouti à la mise au point d'un modèle mathématique destiné à tester l'influence sur les courants de différentes configurations des bouchots situés au sud de la Sèvre niortaise. Il s'agissait d'étudier les changements susceptibles d'être apportés par une correction de la bathymétrie (obtenue par dévasage), ou des modifications dans la répartition des pieux. Le modèle a montré que ces remaniements avaient, somme toute, des conséquences négligeables sur les courants. En revanche, l'étude a prouvé que si la vitesse des courants est très sensiblement diminuée au passage dans les bouchots, elle est, paradoxalement,

plus élevée dans les secteurs les plus à terre, ce qui serait dû surtout, non à la profondeur plus faible, mais à une densité moindre des pieux et un alignement des lignes par rapport à l'orientation générale des courants tel que les pertes de charge y sont plus faibles.

II. ETUDE DE LA CROISSANCE DES MOULES DANS LE PERTUIS BRETON

Le terme *croissance* utilisé dans ce rapport définit uniquement les augmentations en taille (longueur) et en poids. Toutefois, quelques précisions seront données à propos des relations allométriques et de l'évolution de l'indice de condition. Nous rapporterons aussi dans ce chapitre les résultats d'observations faites sur la mortalité et l'infestation par le parasite *Mytilicola*.

1. STRATEGIES ET METHODES

1.1. CROISSANCE LINEAIRE ET PONDERALE. TECHNIQUES DE SUIVIS UTILISEES

Jusqu'en 1987 nous avons étudié la croissance de jeunes moules d'environ deux mois (naissain) encore fixées sur les cordes de captage que nous disposions en juillet sur les pieux choisis. Il s'agissait alors d'acquérir des données sur la croissance en se plaçant dans les mêmes conditions que les professionnels. Mais cette méthode ne permet pas d'établir des relations entre les moules et leur environnement. En effet, d'une part les individus qui composent la population étudiée diffèrent dans le temps, d'autre part la densité des moules sur la corde de captage varie selon les années ce qui entraîne des modifications de la croissance. Les changements dans la population d'origine résultent à la fois de la fixation de nouvelles moules en cours d'expérience et du décrochage d'un nombre plus ou moins important d'animaux situés à la périphérie, donc les plus grands. Ces deux phénomènes, dont le premier est bien visible sur la figure 3, entraînent une sous-estimation de la vitesse de croissance. Quant à la densité du naissain, elle oblige les moules à former sur le pieu des couches superposées; il en résulte une croissance très hétérogène, les moules "intérieures" végétant alors que les autres grandissent rapidement, la différence étant d'autant plus importante que la densité est élevée.

Pour éliminer ces inconvénients nous avons adopté en 1988 le protocole suivant : des animaux de neuf à dix mois sont installés dans des paniers, eux-mêmes fixés sur les pieux (fig.4). A la mise à l'eau en mars, ces moules (120 par panier) sont calibrées de façon à ce que leur longueur se situe entre 30 et 40 mm. Elles sont mesurées et pesées de nouveau en juin puis relevées en novembre.

Afin de supprimer l'influence du facteur émergence, tous les échantillons ont été prélevés, ou les paniers fixés, à la même cote fixée entre 1,60 et 1,90 mètre au dessus du zéro des cartes, ce qui correspond à un taux d'émergence se situant entre 8 et 13 % (voir annexe 2).

Le tableau 1 montre les différents suivis réalisés et la figure 5 l'emplacement des stations qui ont été choisies en fonction des observations faites lors d'études précédentes.

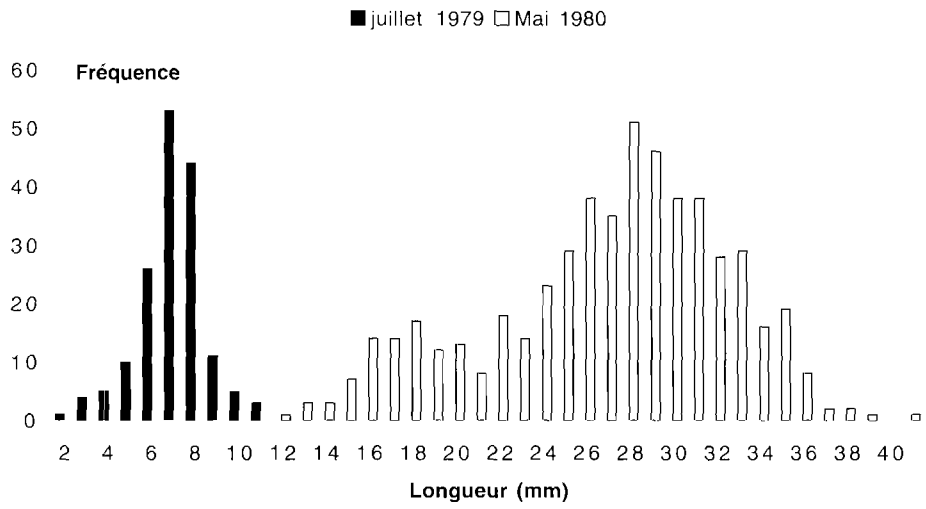


Fig. 3 - Structure de la population de moules d'un pieu supposée être composée des mêmes individus en juillet 1979 et, onze mois plus tard, en mai 1980.



Fig. 4 - Suivis de croissance en paniers

Année	Stations	Nombre pieux ou paniers	Age moules	Technique utilisée	Début et fin du suivi	Contrôles intermédiaires
79 / 80	1 à 6	4	naissain	cordes	11.07.79 13.05.80	10.09.79 20.11.79 18.02.80
80 / 81	1 à 6	1	naissain	cordes	28.08.80 20.05.81	8.12.80
81 / 82	11 + 14 à 16	2	naissain	cordes	1.07.81 7.06.82	17.09.81 27.11.81 10.02.82
1985	1 à 9	2	naissain	cordes	19.07.85 12.11.85	17.10.85
1987	1 à 5 + 9	4	naissain	cordes	15.07.87 3.11.87	
1988	3, 5, 10, 11	4	1 an	paniers	5.07.88 12.12.88	12.09.88
1989	3, 5, 10, 11	4	1 an	paniers	20.02.89 14.12.89	19.06.89
1990	3, 5, 10, 11	4	1 an	paniers	12.03.90 16.11.90	25.06.90
1991	3, 5, 10, 11	4	1 an	paniers	4.03.91 22.11.91	11.07.91
1992	3, 5, 10 à 13	4	1 an	paniers	4.03.92 27.11.92	1.06.92
1993	3, 5, 10 à 13	4	1 an	paniers	23.03.93 30.11.93	21.06.93
1994	3, 5, 10 à 13	4	1 an	paniers	10.03.94 5.12.94	21.06.94

Tableau 1 - Etudes de la croissance des moules. Suivis réalisés de 1980 à 1994.

1.2. BIOMETRIE

Les longueurs, largeurs et épaisseurs des coquilles ont été mesurées au millimètre près.

A partir de 1985 le poids moyen d'une moule a été estimé en dénombrant les animaux contenus dans un échantillon préalablement pesé. Lorsque la méthode des paniers a été adoptée en 1988, l'ensemble de la population de chaque panier était pesé et un poids moyen par individu calculé. Enfin, à plusieurs reprises des moules ont été classées par taille, chaque lot d'une taille donnée a été pesé et une relation taille - poids calculée. Cette manière de procéder ne permet pas de définir la variabilité des poids pour chaque longueur mais seulement la courbe moyenne.

1.3. INDICE DE CONDITION

Il a été estimé par l'indice de Lawrence et Scott (1982) sur des échantillons de 20 moules prises en un seul lot. $I = [\text{Poids sec} / (\text{Poids total} - \text{Poids coquille})] \times 10^{-3}$

Le poids de chair sèche est obtenu après dessiccation à 60°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

1.4. MORTALITE

Deux méthodes ont été utilisées. L'une consiste à compter les moules survivantes de chaque panier lorsque celui-ci fait l'objet d'un contrôle. Elle permet d'estimer la mortalité réelle survenue pendant une période déterminée. L'autre conduit à évaluer les taux de disparition sur les pieux expérimentaux pendant la durée du suivi : au départ de l'expérience un échantillon de corde de longueur connue est prélevé, par pieu ou par station, et les moules comptées. Le nombre total d'animaux présents sur chaque pieu utilisé pour l'étude est estimé en rapportant à la longueur de corde installée sur ce pieu. Au moment de la récolte, un échantillon de moules est pris sur le pieu, pesé et les animaux dénombrés. Le nombre total d'individus est calculé en considérant le poids récolté sur ce support.

1.5. INFESTATION PAR MYTILICOLA

Chaque lot examiné comprenait généralement 25 moules, plus rarement 30 ou 50. Les parasites extraits par dissection de chaque individu étaient dénombrés et le degré d'infestation caractérisé par :

- le pourcentage d'animaux parasités,
- le nombre moyen de *Mytilicola* par moule parasitée.

En 1990 nous avons utilisé une méthode mise au point par Bateau et al. (1992). Des moules sont installées dans un bac contenant du Trichlorfon à raison de 100 mg/l pendant 18 heures. Ce traitement provoque un relâchement des muscles adducteurs, ce qui entraîne l'ouverture des valves. Les parasites sont expulsés ou se décrochent d'eux-mêmes. Les résultats des deux méthodes ont été comparés.

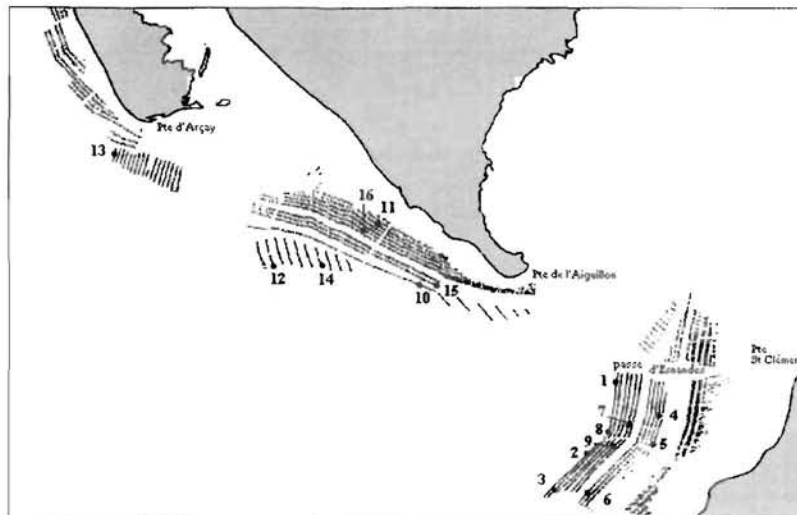


Fig. 5 - Etude de la croissance. Emplacement des stations dans le secteur de Marsilly (1 à 9), L'Aiguillon (10 à 12 et 14 à 16) et La Tranche (13).

2. RESULTATS

2.1. RELATIONS ALLOMETRIQUES

2.1.1. Relations longueur, hauteur, épaisseur

De nombreux auteurs ont étudié les relations entre ces paramètres et observé qu'elles variaient fortement avec l'âge des animaux, leur densité et la vitesse de leur croissance laquelle dépend des conditions environnementales locales : valeur nutritive du milieu, temps d'émersion...etc. (Seed, 1968; 1973; Koehn, 1991). On doit donc considérer que les chiffres indiqués dans cette étude sont propres aux moules du Pertuis Breton élevées sur bouchots.

Les données ont été recueillies en 1971. Nous avons mesuré 9877 moules dont la longueur était comprise entre 23 et 52 mm et nous les avons réparties en classes de 5 mm. Le tableau 2 montre les rapports de la hauteur (ou largeur) moyenne et de l'épaisseur moyenne à la longueur moyenne. Les moyennes et les écarts-type ont été calculés selon la méthode des variables quotients (Cochran 1977, dans Frontier, 1983).

Taille (mm)	Nombre de moules	L / H		L / E	
		Moyenne	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type
25	363	1,969	0,007	2,950	0,014
30	1410	1,997	0,003	2,913	0,006
35	2844	2,021	0,002	2,902	0,005
40	3196	2,069	0,002	2,908	0,004
45	1596	2,129	0,003	2,928	0,005
50	468	2,172	0,006	2,929	0,011

Tableau 2 - Relations allométriques.

Dans une étude sur la croissance des moules, Seed (1973) a observé que le rapport L/H augmentait progressivement avec la longueur alors qu'à l'inverse le rapport L/E tendait à diminuer. Pour notre part, dans la limite des tailles étudiées, nous constatons aussi un accroissement de L/H avec la longueur. En revanche, L/E varie à peine et son évolution semble peu liée à l'allongement de la coquille. Autrement dit, dans le Pertuis Breton, les moules grandissent aussi vite en épaisseur qu'en longueur et moins vite en largeur. Par exemple, lorsque la longueur passe de 25 à 50 mm, l'épaisseur double alors que la largeur n'est multipliée que par 1,81.

Les hauteurs et épaisseurs moyennes de moules dont la longueur est comprise entre 20 et 54 mm sont rapportées dans l'annexe 3 et visualisées sur la figure 6. Les meilleures approximations linéaires dans cette gamme de longueurs sont les suivantes :

$$H = 0,404 L + 3,063 \quad \text{avec } r = 0,91$$

$$E = 0,339 L + 0,150 \quad \text{avec } r = 0,89$$

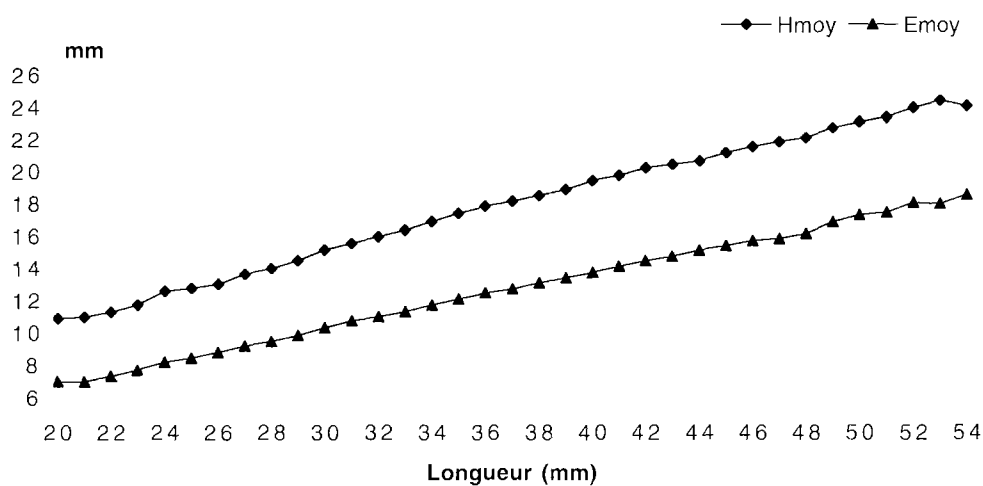


Fig. 6 - Relations allométriques

2.1.2. Taxinomie

Deux variétés de moules font l'objet d'une exploitation en Europe : *Mytilus edulis* L. et *Mytilus galloprovincialis* Lmk. Les moules du Pertuis Breton sont considérées appartenir à la forme *edulis*. Cependant, les retrempages de moules de la baie de Saint-Brieuc (Erquy) pratiqués chaque printemps depuis plusieurs années dans les réservoirs de la Sèvre niortaise ont conduit, dès 1971, certains mytiliculteurs à craindre une hybridation entre cette moule apparentée à la forme *galloprovincialis* et la moule du Pertuis.

En 1971 nous avons étudié trois lots de moules. Le premier était originaire de Saint-Brieuc, les deux autres du Pertuis Breton, l'un d'eux étant constitué de moules en majorité à coquille jaune et supposées hybrides. L'un des critères utilisés naguère pour distinguer les *edulis* des *galloprovincialis* était le rapport L/H qui est plus élevé chez les premières (Hepper, 1957 ; Lubet, 1959). D'autres caractères étaient aussi considérés comme la coloration du bord du manteau, la taille de l'empreinte du muscle adducteur antérieur ou encore la présence (*edulis*) ou l'absence (*galloprovincialis*) sur la coquille de bandes longitudinales. L'étude des caractères génétiques des organismes, rendue possible avec l'électrophorèse, a permis de déterminer avec beaucoup plus de précision les différences entre populations et entre individus (Levington et Koehn, 1976). Koehn (1991), réalisant des analyses multivariées prenant en compte dix-huit caractères morphologiques, a montré que l'examen de plusieurs caractères était nécessaire pour identifier la plupart des individus. La combinaison de ces observations avec une étude génétique a considérablement aidé à clarifier la classification des différentes formes de *Mytilus* (Koehn, 1991 ; McDonald et al., 1991).

Dans l'étude que nous avons effectuée en 1971 nous avons considéré le rapport L/H, la coloration du bord du manteau et la présence de bandes sur la coquille. Bien que ces seuls critères soient maintenant jugés insuffisants pour déterminer avec certitude l'espèce à laquelle appartient un individu, il nous a semblé intéressant de rapporter les résultats. Ceux-ci sont rassemblés dans le tableau 3. Les moules ne présentant pas simultanément les caractères coloration des bords du manteau

et présence (ou absence) de bandes sur les valves étaient notées "formes intermédiaires". En dépit de la taille réduite des échantillons, les trois lots se différencient très nettement. Ces résultats nous avaient conduit à considérer que les moules présumées *edulis* appartenaient sans conteste à cette forme. La présence de 13% de moules à caractère *edulis* dans le lot d'Erquy ne nous semblait pas surprenante puisque la baie de Saint-Brieuc est une zone d'hybridation et que la plupart des moules qui y sont cultivées sont originaires du Pertuis Breton. L'hétérogénéité du lot à coquille jaune avait été attribuée à une éventuelle hybridation avec les moules bretonnes. Cependant, on ne peut exclure la présence dans la région de *M.galloprovincialis*. Cette espèce existe en effet dans le bassin d'Arcachon (Lubet, 1959) et des spécimens ont été observés en baie de Bourgneuf (Legallo, 1972). McDonald et al. (1991) ont aussi remarqué sa présence et celle d'hybrides aux Sables d'Olonne.

Taille (mm)	Moules du Pertuis Breton présumées " <i>edulis</i> "			Moules du Pertuis Breton présumées " <i>métisses</i> "			Moules d'Erquy présumées " <i>galloprovincialis</i> "		
	n	L/H	Ecart-type	n	L/H	Ecart-type	n	L/H	Ecart-type
1. Caractères biométriques : valeurs de l'indice L/H									
25	29	1,941	0,021	28	1,868	0,019	34	1,763	0,016
30	18	1,992	0,019	36	1,915	0,020	26	1,794	0,017
35	27	1,969	0,016	21	1,899	0,025	26	1,864	0,021
40	27	2,028	0,018	23	1,994	0,015	30	1,889	0,016
45	23	2,085	0,020	19	2,064	0,026	32	1,905	0,016
50	44	2,157	0,012	36	2,098	0,016	31	1,973	0,013
55	22	2,208	0,020	22	2,055	0,025	36	1,988	0,018
2. Caractères non mesurables (coloration bords du manteau et stries sur valves)									
<i>Edulis</i>		100 %			83 %			13 %	
<i>Galloprovin.</i>		0			9 %			84 %	
Intermédiaires		0			8 %			3 %	

Tableau 3 - Taxinomie.

2.1.3. Relation taille - poids

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les moules n'ont pas été pesées individuellement mais par lots d'animaux de même longueur. Ces lots étant constitués d'un nombre variable d'individus, chacun a été pondéré par son effectif (Dagnieli, 1969). Les poids sont exprimés en grammes et les tailles en millimètres. La relation est de la forme : $W = a L^b$ ou encore $\log W = b \log L + \log a$

La valeur des coefficients a et b varie selon les auteurs (Boëtius, 1962 ; Theisen, 1968 ; Dare et Davies, 1975 ; Dare, 1976 ; Boromthanasat, 1986 ; Baud et al., 1990). Ceci serait dû au fait que la croissance des mollusques diffère selon les conditions dans lesquelles ils vivent : taux d'émersion plus ou moins important, secteur calme ou agité, quantité de nourriture disponible, etc....

Nos données ayant été recueillies à des époques et dans des endroits différents, nous avons tout d'abord vérifié si les coefficients a et b étaient modifiés. Nous avons ainsi comparé les droites de régression pour des moules récoltées :

- en décembre et en avril, c'est à dire avant et après la ponte principale,
- le même jour dans deux stations ayant des performances de croissance différentes,
- sur un même pieu mais à des niveaux différents.

Pour chacune de ces trois situations, les moules comparées étaient de tailles identiques. Les tests d'égalité des coefficients de régression (Dagnieli, 1969) nous ayant permis d'accepter l'hypothèse nulle, nous avons rassemblé toutes nos données et calculé la relation taille - poids. Celle-ci a été établie à partir de 3663 moules de 4 à 51 mm. Elle s'écrit : $W = 1,57 \cdot 10^{-4} L^{2,57}$. Avec un coefficient de corrélation $r = 0,999$. La courbe réelle est représentée figure 7.

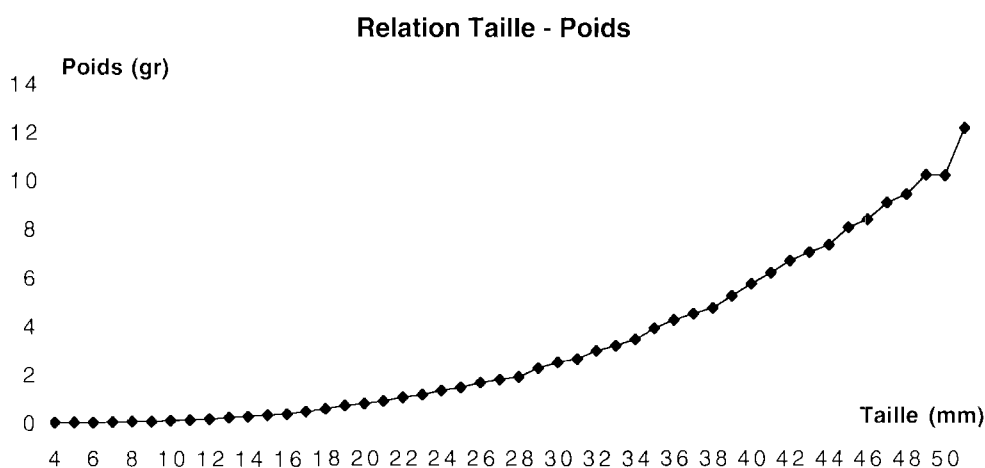


Fig.7 - Relation taille - poids.

2.2. LA CROISSANCE

Nous examinerons successivement les performances de croissance observées en fonction du temps d'émersion, de la saison, du lieu et des années. Sauf, bien sûr, pour l'émersion, chaque station étudiée comprenait plusieurs pieux expérimentaux, deux à quatre selon le suivi. Les analyses de variance ne nous ayant pas révélé de différence significative entre pieux d'une même station, nous avons ignoré ces derniers et groupé nos résultats par station.

2.2.1. La croissance en fonction du temps d'émersion

Hosomi (1978) ne constate pas de différence significative de la croissance de *M. galloprovincialis* en fonction du niveau lorsque le temps d'exposition à l'air est inférieur à 30 %. De nombreux auteurs ont cependant montré que la croissance des moules est d'autant plus ralentie que les animaux sont situés plus haut sur l'estran. Toutefois, *Mytilus edulis* ferait preuve d'une très grande faculté d'adaptation aux conditions d'émersion qui lui permettrait de minimiser cette réduction de croissance. En effet, le stress et l'impossibilité de se nourrir pendant un certain laps de temps seraient compensés par une économie très importante d'énergie pendant la période

d'exondation suivie, dès que les conditions le permettent, d'une capacité à s'alimenter qui serait très rapidement retrouvée (Baird, 1966 ; Seed, 1968 ; Gillmor, 1982 ; Rodhouse et al., 1984 ; Widdows et Schick, 1985 ; McGroarty et Goss-Custard, 1991 ; Sukhotin et Maximovich, 1994).

Les mytilculteurs du Pertuis Breton ont toujours observé une croissance meilleure au pied des pieux, aussi avons nous cherché à estimer cette influence du niveau. Lors du suivi réalisé en 1979/1980, nous avons, à quatre reprises, prélevé des moules aux six stations expérimentales à des hauteurs qui ont été estimées :

- niveau bas : 0,80 à 1 mètre ; taux d'émersion entre 1,4 et 2,1 % ;
- niveau haut : 1,80 à 2 mètres ; taux d'émersion entre 10,6 et 13,7 %.

Une analyse de variance nous a permis de mettre en évidence une différence hautement significative entre les croissances en longueur observées à chacun des deux niveaux. Les résultats sont représentés sur la figure 8. Les remarques qui peuvent être faites sont les suivantes :

- la croissance la meilleure correspond toujours au temps d'exondation le plus faible; dans le Pertuis Breton et pour les niveaux étudiés, la croissance peut être d'environ 10 à 30 % plus importante dans la zone la plus basse ;
- la différence de croissance à deux niveaux d'un même pieu semble indépendante des performances de la station. Ainsi la différence la moins importante est observée tantôt à la station 5 (septembre 1979), tantôt à la station 3 (mai 1980) ; or c'est en 5 que la croissance est la plus lente et en 3 qu'elle est la plus rapide.

Il est intéressant de remarquer que les écarts observés sont plus grands que ce que laissaient prévoir les observations faites par les auteurs cités précédemment.

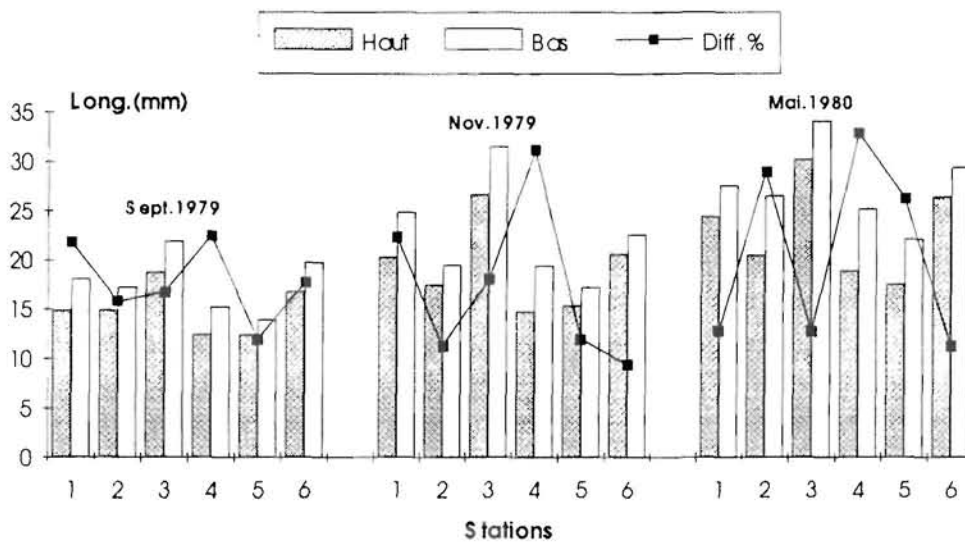


Fig. 8 - Croissance des moules selon le niveau. (Diff.% représente la différence de taille entre le niveau bas et le niveau haut exprimée en pour cent de la taille atteinte au niveau haut).

2.2.2. Croissance saisonnière

Il est bien connu que la croissance des mollusques varie avec la saison et plus précisément avec la température, ce qui a conduit à introduire ce paramètre dans les modèles de croissance utilisés (Boëtius, 1962 ; Ursin, 1963).

Les figures 9 et 10 visualisent les croissances linéaire et pondérale de moules âgées d'environ deux mois (1979 et 1987) et huit à neuf mois (1993). Les pentes de chacune des droites qui représentent les augmentations en longueur et en poids au cours des diverses périodes considérées ont été calculées et rassemblées dans le tableau 4. Bien que la croissance puisse être différente selon les années, les remarques suivantes peuvent être faites mais elles ne font que confirmer ce qui est déjà connu :

- la croissance linéaire est particulièrement rapide au cours de l'été qui suit la fixation, ce qui est dû au fait que les animaux sont alors très jeunes. Elle diminue notablement dès le début de l'automne et en hiver, puis reprend au printemps, mais à une vitesse moindre. Elle ralentit de nouveau pendant le deuxième été ;
- à l'inverse, la croissance pondérale est relativement faible lorsque les moules sont encore au stade naissain. Elle devient importante au cours du printemps suivant, alors que les animaux sont âgés d'environ 10 mois, puis semble rester négligeable.

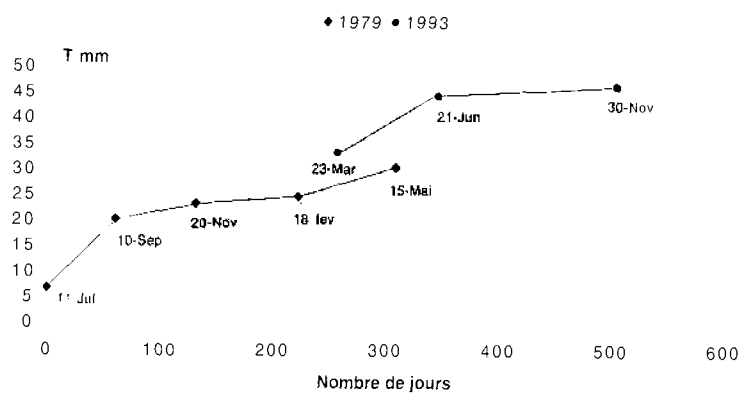


Fig. 9 - Croissance linéaire saisonnière à la station 3 en 1979 et 1993.

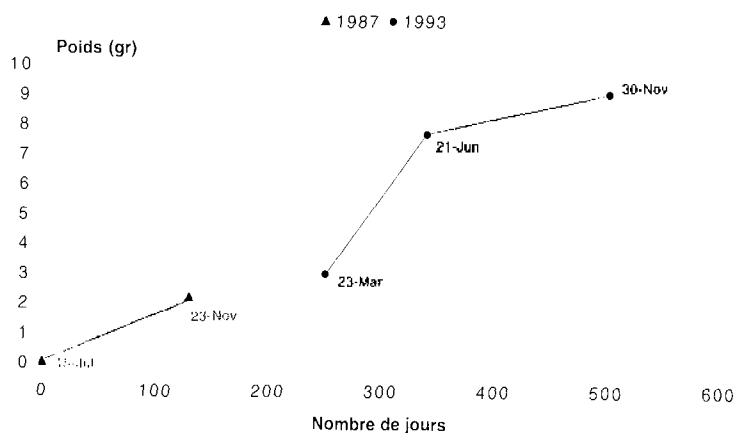


Fig. 10 - Croissance pondérale saisonnière à la station 3 en 1987 et 1993.

Périodes	Age des moules	Pentes des droites de régression de la longueur et du poids en fonction du temps
Croissance linéaire		
1979 / 1980		
11 juillet - 10 septembre	2 mois	0,220
10 septembre - 20 novembre (11 juillet - 20 novembre)	4 mois	0,044 0,125
20 novembre - 18 février	6 mois	0,010
18 février - 15 mai	9 mois	0,072
1993		
23 mars - 21 juin	10 mois	0,123
21 juin - 30 novembre	13 mois	0,012
Croissance pondérale		
1987		
15 juillet - 23 novembre	2 mois	0,017
1993		
23 mars - 21 juin	10 mois	0,052
21 juin - 30 novembre	13 mois	0,007

Tableau 4 - Pentes des droites représentant les croissances linéaire et pondérale à différentes périodes à la station 3.

2.2.3. Variabilité de la croissance selon les sites

Des suivis réalisés en 1971 et 1974 dans les bouchots situés entre le Lay et la Sèvre niortaise et au sud de cette dernière avaient indiqué une croissance généralement moins bonne dans les secteurs les plus à terre, la différence étant particulièrement remarquable au sud de la Sèvre (Dardignac-Corbeil et Feuillet, 1974, 1975).

Les résultats des observations faites depuis 1979 ont fait l'objet d'analyses de variance qui nous ont permis d'affirmer l'existence d'une différence significative entre les augmentations de taille ou de poids observées dans les bouchots étudiés. Les figures 11 et 12 visualisent les performances des différentes stations, qu'il s'agisse de naissain sur pieux (fig.11) ou de moules d'un an mises en paniers (fig.12). Les stations situées les plus au large (3 et 10) ont toujours de meilleures performances que celles situées plus près de la côte (4, 5 et 11). Il est intéressant cependant de remarquer qu'aux stations 1 et 2, qui sont pourtant aussi placées dans des bouchots du large, la croissance est inférieure à celle observée à la station 3. La même constatation peut être faite si on compare les résultats des stations 12 et 13 à ceux de la station 10.

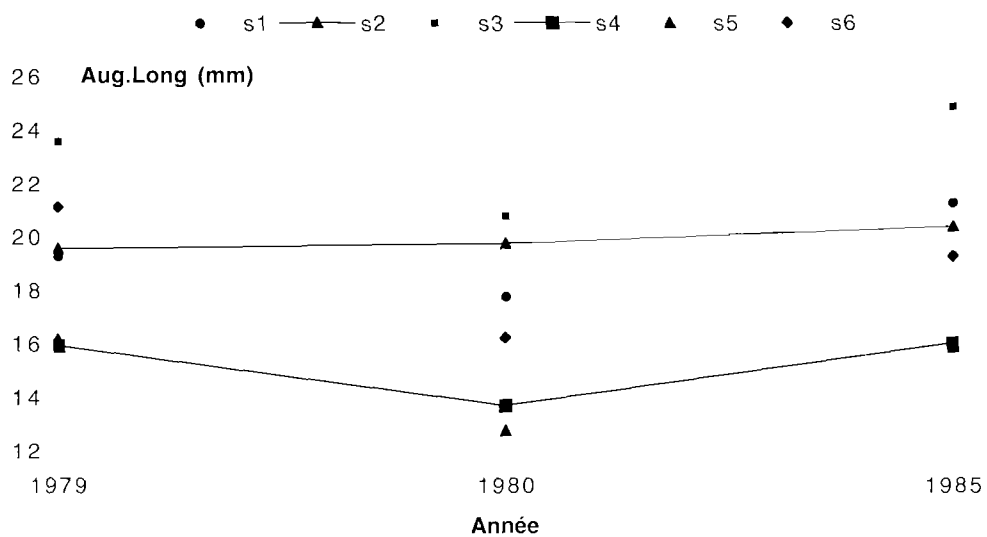
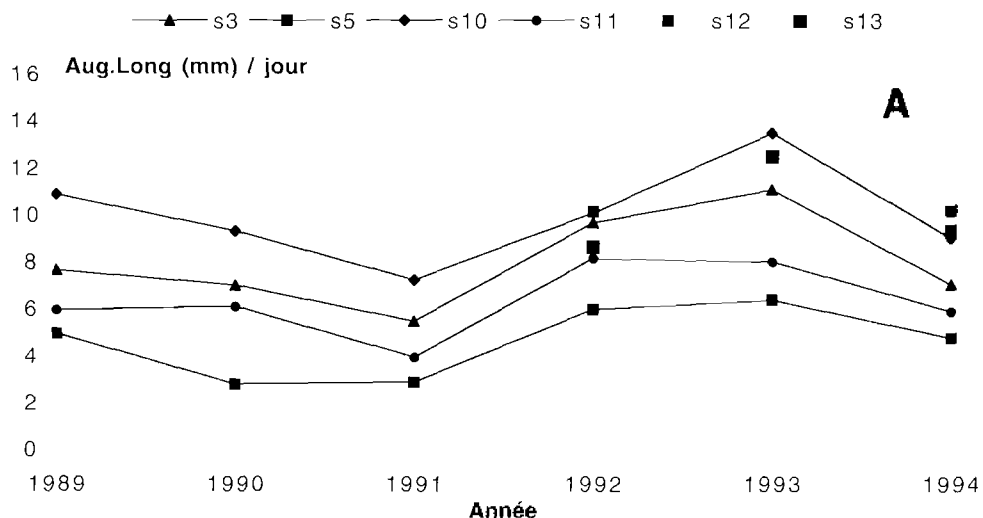


Fig. 11 - Naissain sur pieux. Croissance selon le site et l'année.

2.2.4. Variabilité de la croissance selon les années

La figure 12 visualise les augmentations en longueur et en poids observées chaque année au cours de la même saison (printemps) chez les moules mises en paniers. Rappelons que ces moules sont installées toujours à la même densité et au même niveau par rapport au zéro des cartes.

On peut constater des différences importantes selon les années, avec des écarts en poids qui peuvent aller du simple au double. Ainsi la croissance a été particulièrement mauvaise en 1991 avec une augmentation moyenne en longueur et en poids de 7,21 mm et 2,88 gr à la station 10 où sont observés les meilleurs résultats. En revanche, en 1993, à la même station, les gains ont été 13,45 mm et 6,05 gr.



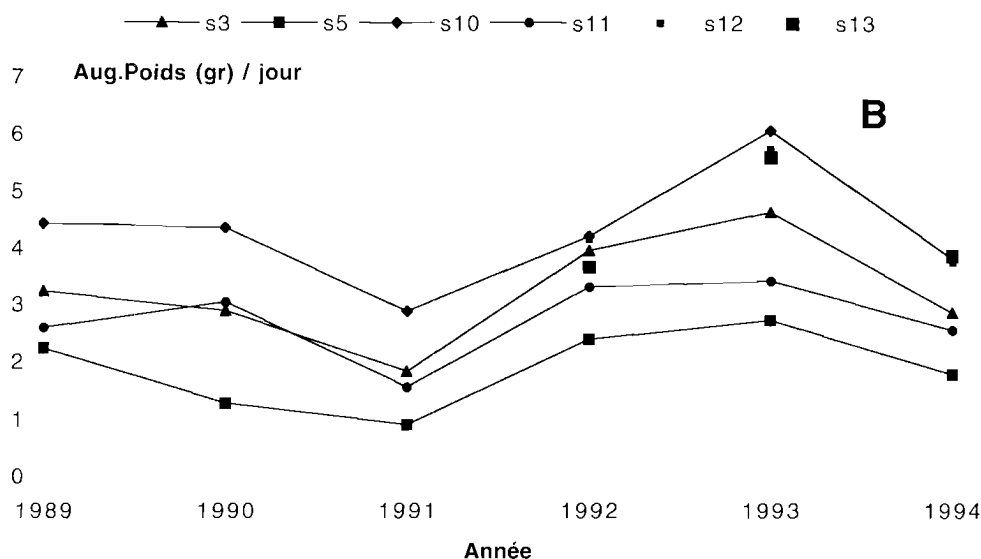
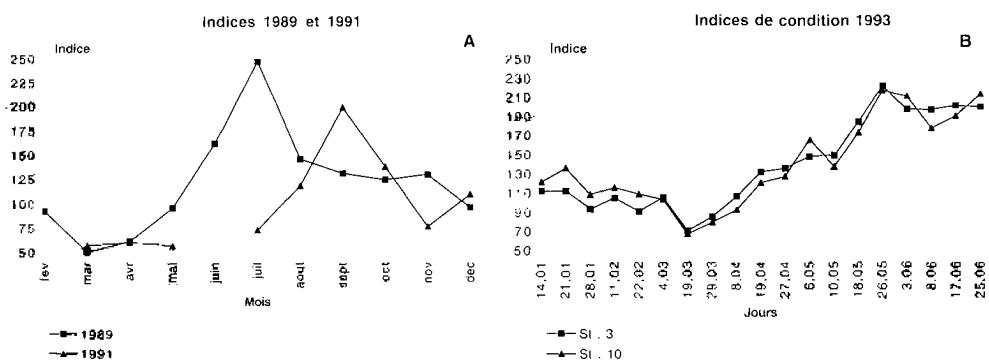


Fig. 12 - Moules de un an en paniers. Croissance selon le site et l'année.
 A : croissance linéaire. B : croissance pondérale.

2.3. INDICE DE CONDITION

La figure 13 permet de voir l'évolution de l'indice de condition selon la saison, l'année ou l'âge. Les valeurs minimales (entre 50 et 80) sont atteintes en mars, à un moment qui correspond à la ponte massive des moules (Dardignac-Corbeil et Prou, 1995). La reconstitution des réserves diffère avec les années. Elle a été lente en 1992 (fig.13c), rapide en 1993 (fig.13b). Les indices les plus élevés sont observés en été (1989) ou en automne (1991) avec des valeurs maximales, plus ou moins élevées selon les années, se situant entre 200 et 250 (fig.13a).

En 1990 nous avons suivi l'évolution de l'indice chez des moules de un et deux ans (fig.13d). Les valeurs minimales ont été voisines (54 chez les animaux de un an; 49 chez ceux de deux ans). En revanche, les moules de un an ont reconstitué leurs réserves plus rapidement : le 9 mai l'indice de condition atteignait 134 alors qu'il ne dépassait pas 101 chez les moules de deux ans.



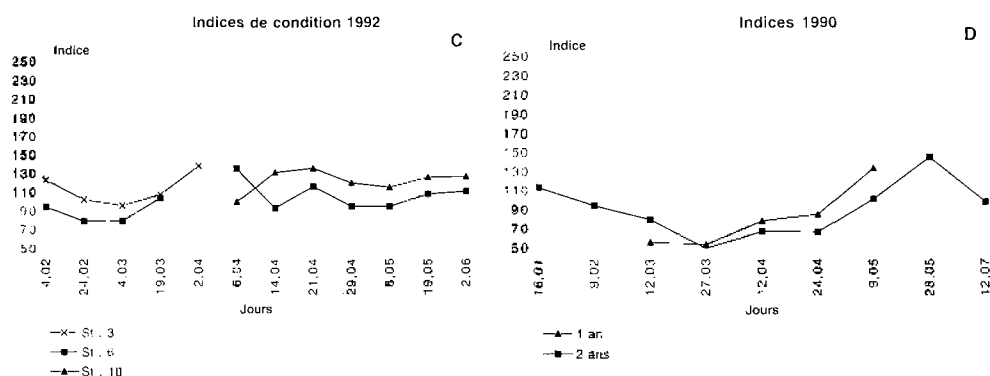


Fig.13 - Indices de condition.

2.4. MORTALITE

Nous exposerons successivement les estimations faites directement sur les pieux et les résultats obtenus avec la technique des paniers. Les informations fournies par ces deux méthodes ne peuvent être comparées. Tout d'abord il s'agit d'animaux d'âge différent : naissain récemment fixé sur les pieux, moules d'environ neuf mois en paniers. Ensuite, les estimations sur pieux indiquent le nombre de moules disparues, mais on ne peut pas connaître la part revenant à une mortalité proprement dite ou à des décrochages résultant de la densité trop élevée sur le pieu. On sait, toutefois, que les pertes de ces petites moules en début d'élevage peuvent être importantes (Dare et Davies, 1975 ; Aguirre, 1979).

2.4.1. Estimation sur pieux

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 5. Ils permettent de constater qu'au cours de la première année d'élevage 50 à 70 % des moules disparaissent du pieu. Les observations que nous avons faites entre juillet et novembre 1985 sont proches de celles réalisées en 1983 à la même époque dans les bouchots de Marennes-Oléron par Boromthanarat et Deslous-Paoli (1988). Les disparitions plus importantes de 1987 semblent pouvoir être attribuées aux fortes tempêtes qui ont sévi au cours du mois de septembre.

Stations	1979 - 1980 11.07 - 15.06 339 jours	1985 19.07 - 12.11 116 jours	1987 15.07 - 23.11 131 jours
1	0,210 (71,22%)	0,437 (50,72%)	0,560 (73,31%)
2	0,199 (67,38%)	0,414 (48,04%)	0,517 (67,71%)
3	0,213 (72,21%)	0,686 (79,56%)	0,567 (74,29%)
4	0,222 (75,26%)	0,652 (75,60%)	0,591 (77,39%)
5	0,209 (71,09%)	0,433 (50,26%)	0,555 (72,65%)
6	0,188 (63,81%)	0,432 (50,13%)	
7		0,472 (54,76%)	
8		0,297 (34,49%)	
9			0,526 (68,93%)
Toutes stations confondues	0,206 (70,04%)	0,483 (55,99%)	0,555 (72,68%)

Tableau 5 - Naissain. Disparition sur pieu au cours de la première année d'élevage. (En % par jour. Entre parenthèses : mortalités cumulées pendant la période considérée).

2.4.2. Méthode des paniers

Les moules mortes ont été dénombrées au moment des interventions occasionnées par les suivis de croissance, c'est à dire en juin et en novembre. Nous avons tout d'abord constaté que les mortalités pouvaient être très différentes dans chacun des quatre paniers d'une même station. Dans 65 % des cas la mortalité la plus forte a été deux à cinq fois supérieure à la plus faible et dans 10 % des cas l'écart a été encore plus important. Cependant, ce n'était jamais les mêmes pieux qui portaient les paniers présentant les mortalités extrêmes et le même panier pouvait montrer la mortalité la plus grande puis la plus faible (ou l'inverse) lors des deux contrôles de juin et novembre. Nous avons donc considéré la population des quatre paniers comme un seul échantillon.

Comme le laps de temps entre deux contrôles n'est pas constant, nous avons calculé la mortalité quotidienne (pour cent par jour). Les résultats sont présentés sur la figure 14. Deux remarques peuvent être faites :

- ce n'est pas toujours aux mêmes stations que sont observées les mortalités les plus élevées : par exemple, la mortalité est plus importante en 3 qu'en 10 au printemps 1992 ; c'est l'inverse qui est observé en 1993 ;

- la mortalité la plus forte a lieu dans la plupart des cas (17 sur 23) au cours de la première période, c'est à dire entre mars et juin. Ceci n'est pas surprenant car dans le Pertuis Breton la ponte des moules a lieu à cette époque (Dardignac-Corbeil et Prou, 1995) et de nombreux travaux ont mis en évidence une recrudescence marquée de la mortalité à ce moment (Freeman et Dickie, 1979 ; Worrall et Widdows, 1984 ; Emmett et al., 1987).

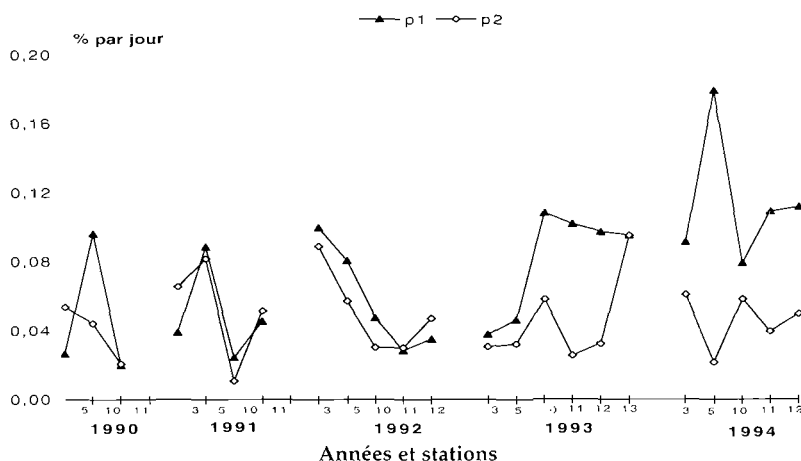


Fig. 14 - Moules de un an. Mortalité en paniers selon l'année, la station et la période (p1 : mars à juin et p2 : juin à novembre).

Le tableau 6 permet de comparer l'importance de la mortalité, toutes stations confondues, au cours de ces cinq années. On constate qu'elle a peu évolué pendant la deuxième période alors qu'elle a nettement augmenté au printemps.

Année	Période 1 mars à juin		Période 2 juillet à novembre		Durée totale du suivi mars à novembre	
	Nombre Mortalité jours		Nombre Mortalité jours		Nombre Mortalité jours	
1990	105	0,039 (4,09%)	144	0,038 (5,47%)	249	0,036 (8,96%)
1991	129	0,047 (6,06%)	134	0,048 (6,43%)	263	0,046 (12,09%)
1992	88	0,058 (5,10%)	180	0,047 (8,46%)	268	0,044 (11,79%)
1993	90	0,080 (7,20%)	162	0,043 (6,96%)	252	0,054 (13,60%)
1994	103	0,114 (11,74%)	167	0,046 (7,68%)	270	0,069 (18,63%)

Tableau 6 - Moules de un an. Mortalités en paniers toutes stations confondues selon la période et l'année (en % par jour ; entre parenthèses la mortalité cumulée pendant la période considérée).

En 1990 et 1991 nous avons comparé les mortalités subies par les moules de un et deux ans au moment critique de la ponte, entre le 15 mars et le 15 mai. La mortalité a été significativement plus élevée chez les moules de deux ans. La figure 15 permet de voir que sur 17 comparaisons l'inverse n'est observé que deux fois, en 1990, aux stations 3 et 10. Freeman et Dickie (1979), Worrall et Widdows (1984), Emmett et al. (1987) ont aussi remarqué que la mortalité augmentait généralement avec la taille des moules. Ceci serait dû au fait que l'effort de reproduction croît avec la taille et l'âge des animaux dont la résistance est alors diminuée (Bayne et al., 1983). Cependant, Mallet et al. (1990) pensent qu'il est difficile d'attribuer la plus forte mortalité des adultes seulement à un effort de reproduction plus important; d'autres facteurs doivent aussi intervenir comme le patrimoine génétique des animaux et certaines conditions du milieu.

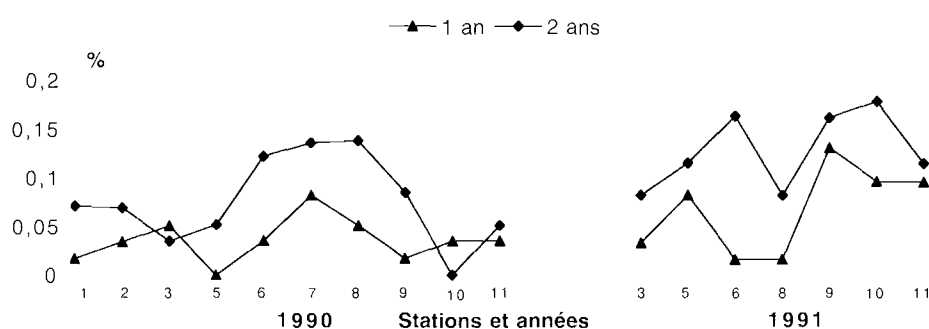


Fig. 15 - Mortalité des moules de un et deux ans au printemps en 1990 et 1991.

2.5. INFESTATION PAR *MYTILICOLA*

Nous tenterons d'explorer d'éventuelles relations entre le taux d'infestation et certains facteurs pouvant avoir une influence, puis nous essaierons d'analyser l'évolution depuis 1960.

2.5.1. Relations avec quelques paramètres

a) L'âge et la taille

Les résultats d'examen effectués en 1986 sur des moules de 4 à 6 mois d'une part, 16 à 20 mois d'autre part, sont visualisés sur le tableau 7. Le pourcentage de moules parasitées est beaucoup plus faible chez les jeunes moules (0 à 16 %) que chez les individus plus âgés (16 à 76 %). La même observation peut être faite en ce qui concerne le nombre maximum de parasites par hôte.

A propos de la taille, nous avons examiné en 1972 des moules nées en 1971 et âgées de 10 à 17 mois. L'étude a concerné 2461 moules dont la longueur se situait entre 25 et 52 millimètres. Nous n'avons pas trouvé de relation entre le taux de parasitisme et la taille. Ceci va à l'encontre des observations de plusieurs auteurs (Brienne, 1964 ; Davey et Gee, 1976 ; Gee et Davey, 1986 ; Davey, 1989) qui ont noté une augmentation du parasitisme avec la taille de l'hôte. Etant donné la vie courte de *Mytilicola* (Williams 1969), ceci ne serait pas la conséquence d'une accumulation de parasites au fur et à mesure que la moule vieillit mais plutôt, entre autres, de la vitesse de filtration plus élevée chez les grandes moules, le *Mytilicola*, passif, étant absorbé avec la nourriture.

Age et dates	Taille moyenne (mm)	% moules parasitées	Nombre max. parasites par moule
4 à 6 mois			
17.09.86	22	0	
6.10.86	28	4	1
5.11.86	32	16	2
	31	8	1
16 à 20 mois			
17.09.86	39	64	5
	45	72	5
06.10.86	47	76	3
	42	28	3
05.11.86	41	48	3
	39	16	3

Tableau 7 - Importance de l'infestation par *Mytilicola* selon l'âges des moules.

b) La saison

Les examens faits en mars, juin et octobre 1972 mettent en évidence une infestation significativement plus élevée en mars (tableau 8). En revanche, pas de différence significative entre juin et octobre.

Bien que Hockley (1951) n'observe pas de variation saisonnière de l'importance du parasitisme, il est généralement admis que le cycle de *Mytilicola* est lié à la température et qu'il y a lieu de distinguer une période de reproduction et une période d'infestation. Les auteurs ne sont pas tous d'accord sur les températures critiques, notamment en ce qui concerne l'infestation, mais la plupart notent une recrudescence du parasitisme à certaines périodes de l'année (Williams, 1969 ; Gee et al., 1977 ; Davey, 1989). L'infestation la plus forte est généralement observée en automne ou en hiver et la plus faible en été. La période d'infestation dans le Pertuis Breton n'est pas déterminée. Brienne (1964) signale un taux de parasitisme minimal en hiver et maximal en été ou en automne; ceci ne concorde pas avec nos observations qui nous conduiraient à penser que *Mytilicola* serait plus abondant à la fin de l'hiver.

Date et lieu	Nombre moules examinées	% moules parasitées	Nombre moyen parasites par moule
1972			
15 mars			
Marsilly	551	75,0	2,60
Aiguillon	400	62,0	1,85
12 juin			
Marsilly	448	25,0	0,46
Aiguillon	400	19,8	0,31
23 octobre			
Marsilly	375	34,7	0,72
Aiguillon	300	14,7	0,25
1974			
Mai			
Aiguillon	250	31,6	0,64
1984			
entre 15 mai et 2 juillet			
Marsilly	650	44,2	0,84
Aiguillon	400	32,3	0,48
Tranche	400	7,5	0,10
1986			
entre septembre et novembre			
Aiguillon	175	48,0	0,89
1990			
29 août			
Dissection			
Aiguillon	150	81,3	1,96
Trichlorfon			
Marsilly	900		2,64
Aiguillon	900		1,84
Tranche	900		1,80

Tableau 8 - Evolution de l'infestation par *Mytilicola*
(le nombre moyen est calculé sur la totalité du lot).

c) Le secteur

En 1972, bien que l'infestation soit plus élevée à Marsilly qu'à L'Aiguillon, la différence entre ces deux secteurs n'est cependant pas significative. En revanche, en 1984, les trois zones étudiées sont significativement différentes, Marsilly présentant le taux d'infestation le plus élevé, puis vient L'Aiguillon et enfin La Tranche. En 1990, seul Marsilly se distingue. L'Aiguillon et La Tranche, moins infestés, ne se différencient pas l'un de l'autre.

2.5.2. Evolution depuis 1960

Les résultats des observations faites depuis 1972 sont rassemblés dans le tableau 8. Comme les examens ont été réalisés en 1990 en utilisant le Trichlorfon, nous avons comparé le nombre moyen de parasites par moule (calculé sur la totalité du lot) obtenu d'une part avec le produit (3 échantillons par lot), d'autre part en disséquant le mollusque (tableau 9). Les analyses n'ont pas révélé de différence significative entre les nombres de parasites donnés par les deux méthodes.

Lots	Nbre moyen de <i>Mytilicola</i> par moule			
	Dissection	Trichlorfon		
		Echant.1	Echant.2	Echant.3
Lot 1	2,13	1,57	1,20	1,83
Lot2	2,40	2,13	2,73	1,87
Lot3	1,53	1,80	2,37	0,93
Lot4	1,16	2,60	1,97	2,67
Lot5	2,60	2,43	2,50	1,43

Tableau 9 - Infestation par *Mytilicola*. Comparaison des résultats obtenus par dissection et avec le Trichlorfon.

Il faut tout d'abord rappeler que *Mytilicola* a été décelé pour la première fois dans les bouchots de la baie de L'Aiguillon en 1960 (Brienne, 1964). L'infestation a d'abord atteint les bouchots du secteur de Marsilly, puis ceux de L'Aiguillon. Elle a ensuite gagné le Lay et le littoral de La Tranche. En 1962 tous les secteurs étaient atteints avec un pourcentage de moules parasitées se situant entre 70 et 99 %. La plupart des moules infestées abritaient un à dix parasites, mais certaines pouvaient en receler jusqu'à 25 ou 30, voire même 40. Le nombre moyen de parasites par moule, calculé sur la totalité du lot examiné, variait, selon la saison et le secteur, entre 3 et 11.

Le tableau 8 permet de constater qu'en 1972, au moment de l'année où l'infestation semble avoir été la plus forte, c'est à dire en mars, le pourcentage de moules parasitées est un peu moins élevé (75 %), mais surtout le nombre moyen de *Mytilicola* par moule ne dépasse pas 2,6. En fait, la plupart des moules infestées, plus précisément les trois quarts, n'abritent pas plus de 1 à 3 parasites.

Les examens effectués au cours des années suivantes tendent à montrer une relative stabilité du parasitisme. En revanche, les observations faites en 1990 révèlent un taux d'infestation équivalent à celui constaté en mars 1972. Il n'est cependant pas possible de savoir s'il s'agit d'une recrudescence du parasitisme ou d'une infestation anormalement élevée mais accidentelle due à des conditions climatiques exceptionnelles. La figure 16 visualise cette évolution dans le secteur de L'Aiguillon qui est le seul à avoir été toujours prospecté. Afin de prendre en compte l'année 1990 le paramètre pris en compte est le nombre moyen de *Mytilicola* par moule calculé sur la totalité du lot.

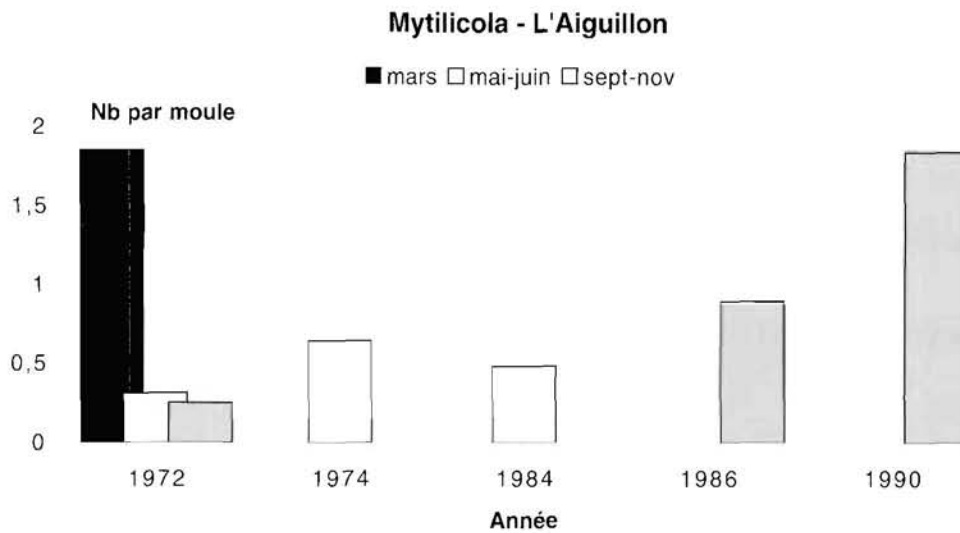


Fig.16 - Evolution de l'infestation par *Mytilicola* dans le secteur de L'Aiguillon (nombre moyen de parasites par moule calculé sur la totalité du lot)

III. ESTIMATION DES BIOMASSES DE MOULES EN ELEVAGE DANS LES BOUCHOTS

1. RAPPEL DE LA METHODE

L'estimation des stocks de moules sur bouchots n'ayant jamais été faite, une méthode a été mise au point en 1987 et 1988 (Mazurié et Dardignac-Corbeil, 1988 ; Dardignac-Corbeil et Mazurié, 1989).

Le procédé le plus évident consisterait à évaluer d'une part le nombre de pieux garnis de moules et d'autre part le poids moyen de moules par pieu, ce dernier paramètre pouvant être décomposé en volume moyen de moules par pieu que multiplie le poids par unité de volume. Le calcul du poids n'a cependant pas été retenu. En effet, le volume peut être considéré comme un indicateur de stock suffisant et ce choix permet d'éviter les nombreux prélèvements que nécessiterait une appréciation de la densité des moules.

Les trois composantes qui permettent d'estimer le volume de moules d'un bouchot sont : le nombre de pieux garnis, la hauteur moyenne de moules sur un pieu, la surface moyenne de la section de moules d'un pieu. Ce dernier paramètre est obtenu en soustrayant de la section totale (moule + pieu) une section moyenne de pieux sans moule estimée sur des pieux différents.

Il a été montré que la meilleure stratégie d'évaluation de ces trois composantes était un tirage à trois niveaux (nombre de pieux, hauteurs garnies, sections) dont l'optimisation a conduit à ne retenir qu'une hauteur de pieu par bouchot et une seule section sur ce pieu mais à échantillonner le plus grand nombre de bouchots possible (Mazurié et Dardignac-Corbeil, 1990).

La formule d'estimation du volume de moules s'écrit :

$$V = N \overline{V_B}$$

$$V = N M h \overline{Sm} \text{ avec } Sm = St - \overline{Sp}$$

$$Var(V) = N^2 Var(\overline{V_B})$$

$$Var(V) = N^2 \frac{1}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right) Var(V_B)$$

$$\text{Précision } 95 \cong 200 * \frac{\sqrt{Var(V)}}{V}$$

V : volume total de moules

N : nombre de bouchots exploités

V_B : volume de moules du bouchot échantillonné

M : nombre de pieux garnis du bouchot échantillonné

h : hauteur de moules sur un pieu échantillonné

St : surface de la section totale (moules + pieu) échantillonnée de ce même pieu

\overline{Sp} : surface moyenne de la section d'un pieu nu

\overline{Sm} : surface de la section de moules échantillonnée du pieu

n : taille de l'échantillon

Le nombre de bouchots exploités est obtenu en soustrayant de l'ensemble des bouchots existants, dénombrés sur photos aériennes, tous les bouchots vides ainsi que ceux utilisés pour le captage et qui, eux, sont comptés sur le terrain.

L'ensemble du Pertuis Breton a été divisé en trois zones caractérisées par leur position géographique et la qualité du milieu, l'influence des rivières étant plus importante dans la partie sud-est du Pertuis. Deux de ces zones ont été stratifiées en tenant compte des rendements des différents secteurs. Nous avons ainsi (fig.17) :

- La Tranche, entre La Tranche s/Mer et l'embouchure du Lay ;
- L'Aiguillon, lui-même divisé en trois strates (Aig1, Aig2, Aig3) et situé entre l'embouchure du Lay et celle de la Sèvre niortaise ;
- Marsilly, comprenant deux strates (Mar1 à terre, Mar2 au large) et situé au sud de la Sèvre niortaise.

La précision dépend à la fois de la taille de l'échantillon et de la variance du volume de moules d'un bouchot. Cette dernière étant très différente selon les années, l'effort d'échantillonnage nécessaire pour obtenir le même résultat peut aller du simple au double (tableau 10). Cet effort ne pouvant guère excéder un total de 500 bouchots, soit 9 à 10% de l'ensemble du Pertuis, il en résulte que les niveaux de précision peuvent sensiblement différer d'une année à l'autre.

ANNEE	PRÉCISION SOUHAITÉE (%)	TAILLES ÉCHANTILLONS				
		Mar 2	Aig 1	Aig 2	Aig 3	Tran
1989	5	300	290	170	110	400
	10	110	110	70	40	130
	15	53	50	33	20	60
	20	31	30	20	11	35
1991	5	370	320	245	160	> 500
	10	160	140	130	80	230
	15	83	70	72	41	110
	20	50	41	45	25	70

Tableau 10 - Tailles d'échantillons nécessaires, selon les secteurs et les années, pour obtenir différentes précisions.

Enfin, en ce qui concerne la période optimale d'estimation de ces biomasses de moules en élevage, nous avons tout d'abord pensé qu'elle devait se situer entre les mois de janvier et de juin. Ce choix a été effectué en tenant compte du fait que la vente des moules ne commence généralement qu'en mai-juin et se poursuit jusqu'au mois de janvier suivant. Ainsi, de juin à janvier, le stock est soumis à deux influences contraires : la croissance des moules qui le fait augmenter, la pêche des animaux de taille commerciale qui le fait diminuer. Au printemps, au contraire, en l'absence de récolte, la seule évolution du stock résulte de la croissance. Il était nécessaire cependant de vérifier l'importance de cette variation.

2. RESULTATS

Nous verrons successivement la période optimale retenue pour récolter les données nécessaires à l'estimation des biomasses de moules en élevage sur les bouchots, puis les résultats de ces estimations. Nous comparerons ensuite des secteurs ayant des rendements différents.

2.1 DETERMINATION DE LA PERIODE OPTIMALE D'ECHANTILLONNAGE

L'étude a été réalisée sur les bouchots de Marsilly. De 1989 à 1993, ce secteur a été prospecté en hiver ou au début du printemps, puis avant l'été. Afin d'éviter toute erreur due à l'échantillonnage, les données ont été recueillies sur les mêmes pieux, marqués lors du premier passage. Tous n'étaient pas retrouvés, soit parce que la marque avait disparu ou que le bouchot venait d'être pêché. Les calculs ont été faits en ne prenant en compte que les pieux mesurés aux deux époques.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 11. Ils montrent que le volume peut augmenter considérablement, jusqu'à doubler et plus, au cours des premiers mois de l'année. De l'examen du tableau, il ressort que cette évolution n'est pas due à une modification de la hauteur des moules sur les pieux, mais à l'agrandissement de la section, conséquence de la croissance des animaux. Cette augmentation du volume peut enfin être très différente selon les années. C'est ainsi qu'elle a été de 43% en 1991 et 164% en 1993.

La croissance des moules au printemps est donc suffisamment importante pour qu'il ne soit pas possible de comparer l'importance des stocks d'une année à l'autre si les données sont recueillies à n'importe quel moment entre janvier et juin. De la même manière, des estimations qui seraient effectuées exactement à la même époque chaque année présenteraient le même inconvénient, puisque la croissance, liée aux blooms planctoniques, ne débute jamais à la même date chaque printemps, ce qui peut entraîner un décalage de quelques semaines.

DATE	Nbre de pieux retrouvés/Nbre de pieux au départ	Volume (m ³) et (P95%)	Augmentation en %	Hauteur moules (mètres)	Section moules (m ²)
1989					
20/04	76/97	3780 (12,11)	81	1.75	0,0277
20/06		6859 (15,77)		1.74	0,0535
1990					
27/03	60/98	3179 (13,88)	46	1.89	0,0238
25/06		4646 (12,30)		1.87	0,0350
1991					
15/03	76/100	2260 (15,11)	43	1.64	0,0228
15/06		3232 (13,74)		1.66	0,0310
1992					
7/01	46/97	3206 (22,74)	50	--	0,0323
15/06		4819 (15,04)		0,0502	
1993					
22/01	74/98	2095 (14,75)	164	--	0,0210
8/06		5531 (11,78)		0,0550	

Tableau 11 - Evolution du volume de moules dans les bouchots de Marsilly au cours des premiers mois de l'année.

Il est donc nécessaire de recueillir les données avant la reprise de la croissance, c'est-à-dire, dans notre région, avant la fin du mois de février. Cette option n'a pu être mise en oeuvre qu'à partir de 1992. En effet, ce travail ne peut être effectué que par des coefficients de marée supérieurs à 70 et demande 13 journées pour 1 bateau et 3 personnes. S'il doit être impérativement réalisé entre le début janvier et la fin février, les aléas de la météo ne permettent pas toujours de disposer du temps nécessaire. Seule la possibilité de disposer d'un second bateau a permis de résoudre ce problème.

2.2 BIOMASSES EN ELEVAGE

De 1988 à 1993 les volumes de moules, tous âges confondus, ont été estimés dans les différents secteurs. Une conversion en poids a été effectuée en utilisant une

densité de 620 kg/m^3 calculée en 1988, à la fin du printemps (Dardignac-Corbeil et Mazurié, 1989).

La figure 18 représente l'évolution du volume de moules de l'ensemble du Pertuis au cours de ces années. On peut constater que ce volume atteint un maximum en 1989 puis diminue très fortement en 1990. Il passe par un minimum en 1991 et augmente en 1992, mais très faiblement. Il n'évolue guère en 1993.

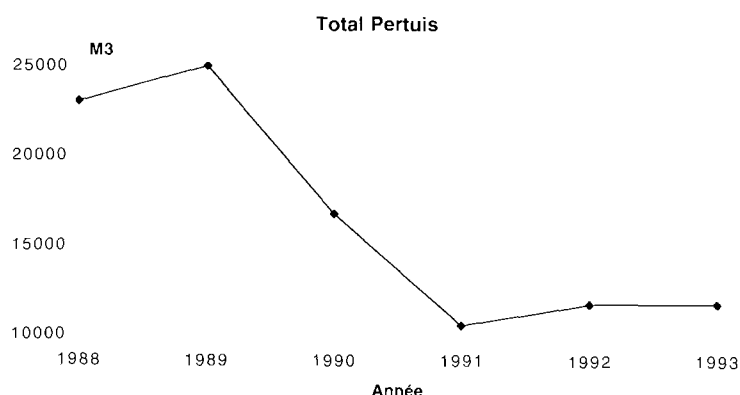


Fig. 18 - Evolution du volume de moules dans le Pertuis Breton de 1988 à 1993.

Etant donné ce qui a été dit précédemment concernant l'accroissement observé au printemps, il est nécessaire de préciser que les données ont été recueillies aux époques suivantes :

- 1988 : mai
- 1989 : avril-mai
- 1990 : avril-mai
- 1991 : mars-avril
- 1992 : janvier-février
- 1993 : janvier.

Il est donc logique de penser que les estimations faites en 1988, 1989 et 1990 sont surévaluées puisqu'à l'époque où les données ont été recueillies, la croissance avait déjà repris.

Dans le tableau 12, ont été regroupées, pour chaque secteur ou strate, les différentes variables entrant dans le calcul du volume. Ce dernier peut être considéré comme étant le produit de la section moyenne de moule par le cumul des hauteurs de pieux garnies de moules, que nous désignerons par "hauteur totale exploitée". Elle est obtenue en multipliant le nombre de bouchots exploités par le nombre moyen de pieux garnis par bouchot et la hauteur moyenne de moules par pieu.

L'examen de ce tableau montre que la hauteur totale exploitée atteint sa valeur la plus élevée en 1989, excepté à Marsilly où ce maximum est constaté en 1988. Elle diminue plus ou moins fortement selon les endroits en 1990 et parvient à un minimum en 1991 (1992 en Aig2). La zone de La Tranche est la plus touchée par cette diminution : 56% seulement de la hauteur exploitée en 1989 est cultivée en 1991. En revanche, cette variable augmente de nouveau très vite dans ce secteur alors que partout ailleurs elle ne remonte que lentement ou même reste pratiquement stationnaire, comme à Marsilly. Il est intéressant de remarquer que les variations de la hauteur totale au cours de ces années sont beaucoup moins importantes dans la strate 3 de l'Aiguillon. Cette dernière étant la plus productive, on peut penser que

chaque concessionnaire s'attache à y maintenir un taux d'exploitation maximum. La figure 19 permet de voir que la hauteur totale exploitée dans le Pertuis Breton commence à diminuer en 1990 et atteint un minimum en 1991. L'augmentation amorcée en 1992 se poursuit en 1993.

En ce qui concerne les sections de moules, on observe dans tous les secteurs, excepté en Aig1, une forte diminution en 1990 qui se poursuit en 1991 et 1992, sauf à Marsilly où une valeur élevée est observée en 1992. En 1993, selon les endroits, la section diminue encore, n'évolue pas ou augmente légèrement. La figure 20 montre l'évolution de la section de moules moyenne pour l'ensemble du Pertuis : importante en 1988 et 1989, la section diminue très fortement en 1990 et 1991, reste identique en 1992 puis diminue de nouveau en 1993.

ANNÉE	NBRE DE BOUCHOTS EXPLOITÉS	NBRE MOYEN DE PIEUX GARNIS PAR BOUCHOT	HAUTEUR MOY. DE MOULES PAR PIEU (mètre)	HAUTEUR TOTALE EXPLOITÉE (Km)	SECTION MOY. DE MOULES (m ² *100)	VOLUME DE MOULES (m ³)
Mar 2						
1988	729	99,6	2,04	150	2,87	4 237
1989	743	99,7	1,75	131	2,82	3 801
1990	727	97,1	1,94	138	2,48	3 354
1991	667	90,7	1,64	101	2,25	2 279
1992	696	91,9	1,53	101	2,97	3 093
1993	715	94,2	1,51	103	2,19	2 252
Aig 1						
1988	725	73,4	1,60	84	3,19	2 625
1989	735	72,0	1,67	89	2,98	2 627
1990	708	67,1	1,61	77	3,56	2 792
1991	590	67,3	1,45	59	2,26	1 354
1992	632	63,1	1,42	59	2,01	1 232
1993	560	71,1	1,54	62	2,15	1 366
Aig 2						
1988	356	113,2	1,84	76	3,59	2 517
1989	356	111,0	1,95	79	3,60	2 765
1990	358	102,9	1,80	66	3,11	2 027
1991	348	105,3	1,75	66	2,45	1 690
1992	293	103,3	1,67	52	2,05	1 079
1993	350	102,9	1,68	63	2,05	1 298
Aig 3						
1988	271	119,0	2,11	66	3,96	2 722
1989	268	119,1	2,09	67	4,26	2 819
1990	270	114,7	1,97	61	3,31	2 017
1991	259	109,7	2,04	59	2,55	1 509
1992	267	116,9	2,07	65	2,50	1 608
1993	265	121,5	1,96	63	2,36	1 523
Tranche						
1988	1 654	85,0	1,43	202	4,88	9 814
1989	1 607	92,4	1,56	236	5,19	12 276
1990	1 588	81,4	1,59	208	2,84	5 958
1991	1 286	75,8	1,32	133	2,45	3 348
1992	1 443	84,8	1,45	183	2,30	4 431
1993	1 651	87,9	1,62	240	1,99	4 974

Tableau 12 - Valeurs des différentes variables entrant dans le calcul du volume des moules.

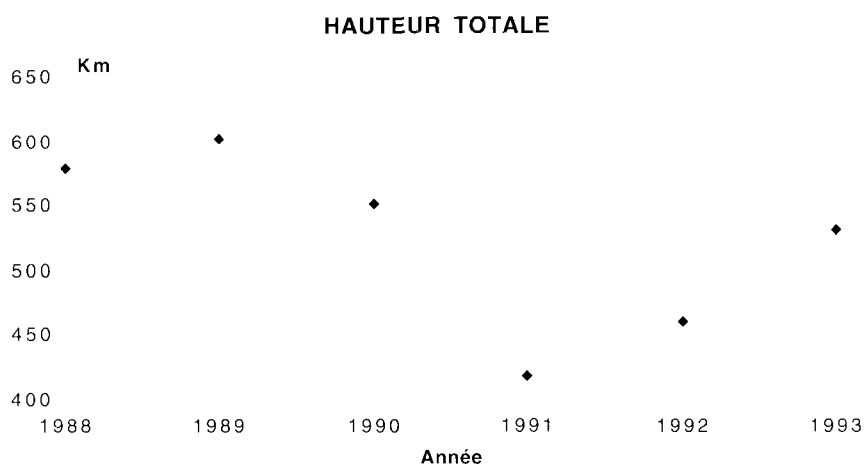


Fig. 19 - Evolution de la hauteur totale de pieux exploitée dans le Pertuis Breton.

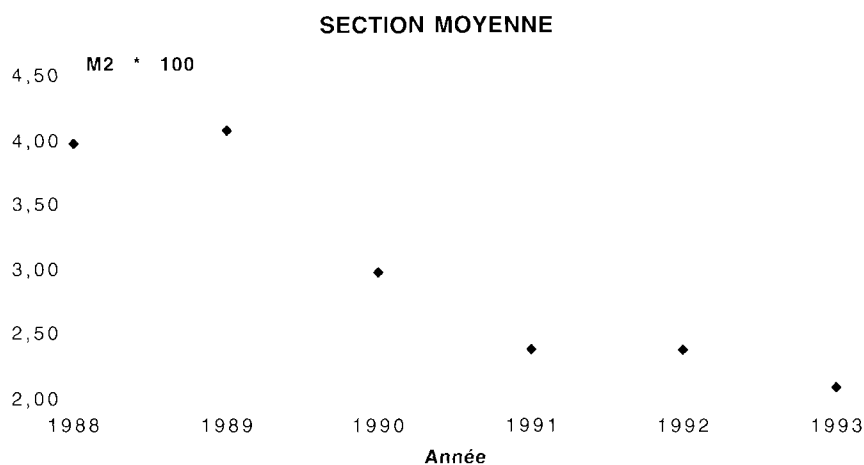


Fig. 20 - Evolution de la section moyenne de moules des pieux du Pertuis Breton.

2.3. EVOLUTION DES VARIABLES DU VOLUME DANS DES SECTEURS AYANT DES RENDEMENTS DIFFERENTS

La figure 21 permet de comparer les différents paramètres entrant dans le calcul du volume de moules dans deux secteurs de rendements différents. Ceux-ci ont été choisis en fonction de leur valeur exprimée en points. Depuis 1983, et sur proposition de la Section Régionale mytilicole, les bouchots du Pertuis Breton sont classés selon leur potentiel de production évalué en nombre de points. Un point équivaut à 300 kg de moules commercialisables par an. Les bouchots les moins bons ont été estimés à deux points ; les meilleurs en valent dix. Nous avons retenu :

- tous les bouchots à 10 points situés dans le secteur Aig3
- tous les bouchots à 3 et 4 points du secteur Aig1

Nous distinguerons ces deux ensembles respectivement par Aig3 et Aig1.

a) Nombre de bouchots exploités

Les secteurs les plus productifs ont un pourcentage de bouchots occupés par l'élevage plus important (fig. 21A). Tous les bouchots non consacrés à l'élevage ne sont cependant pas pour autant vides. En effet, une partie d'entre eux est utilisée pour l'installation des cordes à naissain et ces bouchots de captage sont naturellement plus nombreux dans les secteurs où la croissance est médiocre. C'est ainsi qu'en Aig3 ils sont absents mais représentent environ 10% du nombre de bouchots en Aig1. En outre, si la chute du volume de moules en élevage observée en 1991 résulte, en partie, d'une diminution du nombre de bouchots exploités, celle-ci est cependant beaucoup moins importante dans les bons secteurs. Ainsi, en Aig3, le nombre de bouchots occupés passe seulement de 98 à 94% alors qu'en Aig1 il chute de 80 à 65%.

b) Taux d'exploitation des bouchots

Ce taux est exprimé en pourcentage de pieux garnis par bouchot, comparé à ce qui est permis par la réglementation. Celle-ci, fixée par les arrêtés des 31/07/78 et 08/02/90, détermine le nombre maximum de pieux autorisé, lequel diffère selon les secteurs : il est de 84 pieux en Aig1, et 129 en Aig3. Comme précédemment, il existe une corrélation entre le taux d'exploitation des bouchots et leurs rendements potentiels (fig. 21B). En situation normale, plus de 90% des pieux sont garnis en Aig3 ; il a fallu la récession observée en 1991 pour que ce taux tombe à 86%. Les bouchots de secteurs moyens sont moins bien exploités : excepté en 1988, le pourcentage de pieux utilisés pour l'élevage en Aig1 est toujours inférieur à 85, et il est même descendu à 72 en 1992.

c) Taux d'exploitation des pieux

Le taux d'exploitation des pieux est exprimé en pourcentage de la hauteur utilisée. La hauteur au dessus du sol d'un pieu dépend de sa situation sur l'estran. En Aig1, secteur plus à terre, elle ne dépasse pas 2 mètres, alors qu'en Aig3 elle se situe entre 3 et 3,50 mètres. Ceci explique que la hauteur moyenne de moules sur un pieu soit plus importante en Aig3 (environ 2 mètres) qu'en Aig1 (1,5 à 1,6 mètre). Cependant, contrairement à ce qui a été vu pour les bouchots et le nombre de pieux cultivés par bouchot, les pieux sont mieux exploités dans le secteur le moins bon. En effet, les moules colonisent 70 à 80% du pieu en Aig1, alors qu'en Aig3, 55 à 60% seulement sont utilisés (fig. 21C). Ceci est dû au fait qu'une plus grande proportion de la partie inférieure des pieux situés en Aig3 ne peut être exploitée car elle est plus rarement découverte par la marée.

d) Section de moules

Excepté en 1988 et 1989 où elles sont plus fortes en Aig3, les sections semblent indépendantes du secteur (fig. 21D). Il était logique de penser qu'elles seraient plus importantes dans le secteur à dix points. Mais la croissance, plus rapide à cet endroit, conduit l'exploitant à faire des prélèvements de moules beaucoup plus volumineux que dans la zone plus à terre. Autrement dit, en Aig3 les moules grossissent plus vite ce qui augmente la section mais en même temps elles forment des paquets qui risquent de tomber et que le mytiliculteur enlève; en Aig1, la croissance est plus lente mais les éclaircissements sur le pieu sont bien moins importants.

e) Volume moyen de moules par bouchot

La figure 21E montre les valeurs de ce volume dans les deux secteurs considérés. Le nombre de pieux garnis par bouchot et la hauteur moyenne de moules par pieu, l'un et l'autre plus importants dans la zone à 10 points suffisent à expliquer les valeurs plus élevées dans ce secteur du volume de moules par bouchot.

Précisons néanmoins que ce n'est pas cette importance plus grande du volume qui conduit à attribuer plus de points à un secteur, mais la rapidité avec laquelle se développent les moules. Les animaux qui font toute leur croissance en Aig3 sont commercialisés dès 14-15 mois alors que ceux qui sont élevés en Aig1 ne sont vendus qu'à 18 mois-2 ans. Rappelons que le point représente 300 kg/an. Par conséquent, un bouchot à 10 points fournira 3 tonnes en un an, alors qu'un bouchot à 5 points produira la même quantité mais en 2 ans.

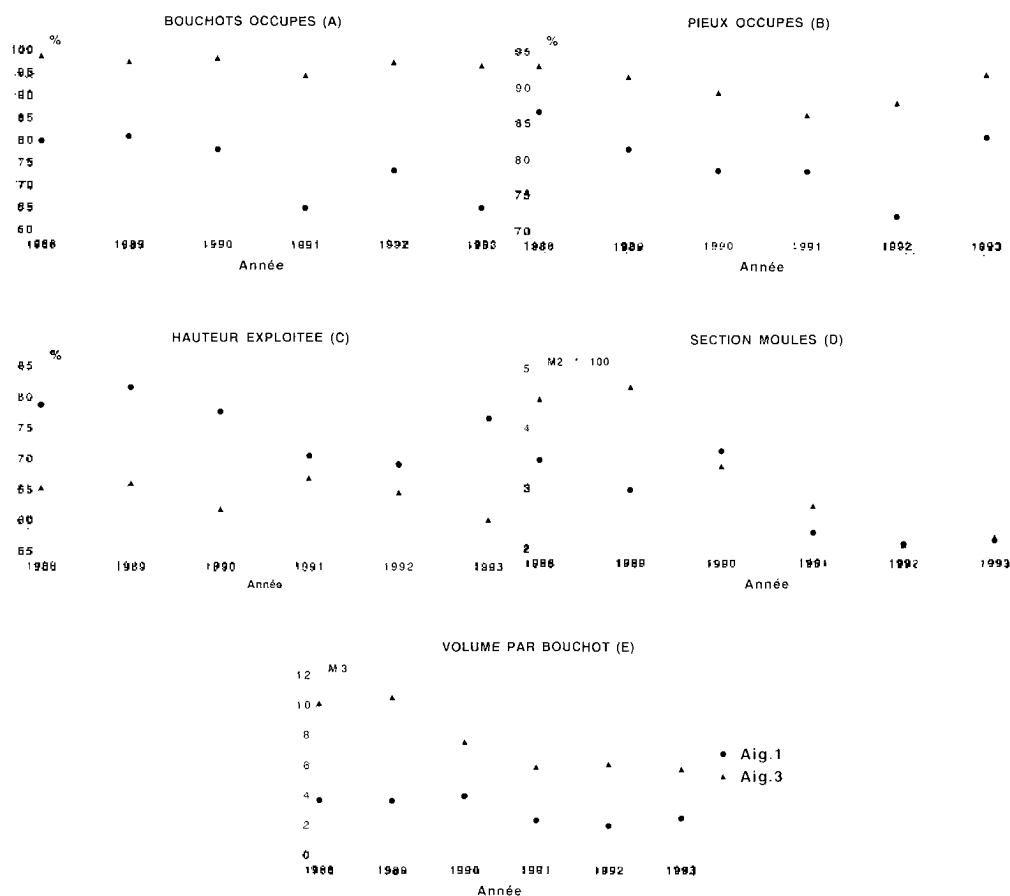


Fig. 21 - Comparaison de deux secteurs (Aig.1 et Aig.3) ayant des rendements différents.

3. DISCUSSION

L'importance de la chute du volume entre 1989 et 1991 (58%) demande à être analysée.

Le volume dépend à la fois de la hauteur totale exploitée et de la section de moules, c'est-à-dire de l'épaisseur que forment les animaux sur le pieu. Les estimations ont été faites au printemps et nous avons vu qu'à cette période la hauteur totale ne varie pas alors qu'au contraire la section peut subir un agrandissement très important dû à la croissance des animaux. Il y a donc tout lieu de craindre que les volumes des trois premières années n'aient été surestimés puisque les données ont été recueillies en avril-mai, donc à une époque où la croissance des moules avait déjà entraîné un développement de la biomasse. L'examen de la figure 20 montre effectivement des valeurs très élevées de la section moyenne en 1988 et 1989. En revanche, la section est beaucoup moins importante en 1990 bien que les données aient été recueillies à la même époque. En ce qui concerne la hauteur totale exploitée, qui ne dépend pas du moment où l'échantillonnage est fait au printemps, la figure 19 montre aussi des valeurs élevées en 1988 et 1989, puis une diminution en 1990 suivie d'un minimum en 1991.

On peut donc considérer qu'il y a bien eu une chute du volume de moules entre 1989 et 1991 mais que son importance a été exagérée par la valeur des sections mesurées en 1988 et 1989 et sans doute aussi en 1990.

Cette chute est sans aucun doute la conséquence des défauts de captage survenus en 1989, 1990 et 1991 et attribués à une évapotranspiration excessive au moment de la fixation des larves (Dardignac-Corbeil et Prou, 1995). Le manque de naissain a été particulièrement dramatique en 1990, d'autant qu'il survenait après une année où déjà le captage avait été insuffisant. La pénurie de cordes garnies de jeunes moules a entraîné en 1991 une diminution importante du nombre de pieux mis en élevage, donc de la hauteur totale exploitée.

L'évolution du volume en 1992 et 1993 mérite aussi d'être examinée. En 1992, le volume augmente légèrement (fig. 18), ce qui est la conséquence de l'allongement de la hauteur totale exploitée (fig. 19) puisque la section n'est pas modifiée (fig. 20). Cette augmentation du taux d'exploitation peut surprendre quand on considère le manque de captage survenu en 1991, pour la troisième année consécutive. Cette amélioration est due aux longues lignes. En effet, des filières à moules ont été installées dans le Pertuis Breton en 1991. Alors que le captage était mauvais dans les bouchots, il a été correct sur les filières, ce qui a permis à un certain nombre de concessionnaires de garnir des pieux avec des moules nées sur les filières. En 1993, la hauteur totale exploitée augmente grâce à l'abondant captage de 1992, mais la section de moules est particulièrement médiocre, ce qui explique la constance du volume. Selon les mytiliculteurs, cette faiblesse de la section résulterait des dégrappages de moules consécutifs aux périodes de mauvais temps qui se sont succédées pendant l'automne 1992. Quant à la hauteur totale exploitée, elle aurait sans doute été plus importante si certains bouchots n'avaient pas été supprimés lors de l'octroi des filières à moules. En effet, afin d'éviter tout risque de surcharge dans le Pertuis, une filière ne pouvait être accordée que si, en contrepartie, des bouchots étaient abandonnés. C'est ainsi qu'au cours des années 1992 et 1993, 185 bouchots ont été supprimés à La Tranche, 125 dans le secteur de l'Aiguillon, essentiellement Aig1, et 203 à Marsilly (communications du Service des Cultures marines des D.D.A.M de Vendée et Charente Maritime, quartiers des Sables d'Olonne et de La Rochelle). Ce ne sont cependant pas les bouchots les plus productifs qui ont été éliminés.

4. CONCLUSIONS

- Le choix de la période d'échantillonnage a une très grande importance pour suivre l'évolution d'un stock de moules avec le moins d'erreur possible. Il est impératif de recueillir les données avant la reprise de la croissance au printemps.
- En dépit de la surestimation du volume en 1988, 1989 et sans doute aussi 1990, il est manifeste que le stock de moules en élevage a fortement diminué dans le Pertuis Breton entre 1989 et 1991.
- Cette chute est attribuée au manque de captage qui a sévi pendant trois années consécutives, ce qui a entraîné une diminution des quantités de naissain disponibles pour l'élevage.
- Dès 1992, en dépit du mauvais captage de 1991, la biomasse remonte grâce à l'apport des filières mises en place en 1991.
- L'excellent captage de 1992 entraîne en 1993 une remontée du taux d'exploitation mais le volume reste identique à celui de 1992 à cause de la très faible épaisseur de moules sur les pieux.
- En ce qui concerne l'exploitation de bouchot à rendements différents, les secteurs plus productifs ont un pourcentage de bouchots exploités et un pourcentage de pieux garnis par bouchot plus élevés. En revanche, le taux d'exploitation des pieux est moins grand. Ceci est dû au fait que les secteurs plus productifs sont situés plus au large et il est plus difficile de garnir les pieux jusqu'au pied.

IV. HYDROLOGIE

1. RAPPEL DES TRAVAUX ANTERIEURS

Un suivi du milieu a été réalisé entre le 12 novembre 1971 et le 30 octobre 1972 (Dardignac-Corbeil et Feuillet, 1974). Les prélèvements étaient effectués aux pleines mers de mortes-eaux, une à deux fois par mois selon les conditions météorologiques. Le suivi comportait 21 stations dont 12 étaient situées dans les bouchots d'Ésnandes-Marsilly, au sud de la Sèvre niortaise, et 9 dans les bouchots de l'Aiguillon, entre la Sèvre et le Lay.

Il n'a pas été observé de différence significative de température et de salinité entre les stations. Il en a été de même en ce qui concerne le poids du matériel en suspension dans les bouchots de Marsilly et dans ceux de l'Aiguillon. En revanche, ce poids était significativement plus élevé dans les stations les plus à terre. Quant à la matière organique particulaire, évaluée en dosant le carbone organique, une différence hautement significative a été mise en évidence entre les deux secteurs, les teneurs étant plus élevées à Marsilly. Ces résultats montraient que si le poids du matériel en suspension était sensiblement le même dans les deux secteurs étudiés, en revanche la nature des particules différait. Ceci est en accord avec les observations de Lorin (1970) qui décrit une sédimentation à dominance sableuse sur la côte vendéenne et vaseuse sur la côte charentaise, la Sèvre jouant le rôle d'une barrière en empêchant le passage des sables de la Pointe de l'Aiguillon vers la Pointe Saint Clément.

2. STRATEGIES ET METHODES UTILISEES

2.1. PRELEVEMENTS

Certains de nos prélèvements ont été effectués à basse mer ou en jusant mais la plupart ont eu lieu en flot, généralement à mi-flot, à un niveau correspondant à mi-hauteur des pieux à moules, soit, selon les endroits, à 1 ou 1,50 mètre au dessus du sol. Des comparaisons ont cependant été faites entre la surface et le fond en 1985. Dans la mesure du possible, la fréquence a été hebdomadaire de mars à novembre et bi-mensuelle les autres mois. Les suivis ont été réalisés de 1987 à 1993, principalement aux stations 3, 5 et 10 (fig.5).

Héral et al. (1987) ont montré que dans des milieux estuariens, comme le bassin de Marennes-Oléron, la variabilité journalière de certains paramètres pouvait être très importante, supérieure même à la variabilité saisonnière. En 1986, nous avons suivi quatre cycles de 12 heures avec prélèvements toutes les deux heures afin d'estimer l'étendue de ces fluctuations.

2.2. PARAMETRES SUIVIS ET METHODES UTILISEES

Les échantillons ont été préfiltrés avant analyse sur un tamis avec pores de 250 microns.

- *Température et salinité*

Elles sont relevées à l'aide d'un conductimètre portatif WTW IP 65.

- *Seston minéral et organique*

La matière particulaire est recueillie sur un filtre Whatman GF/C (porosité moyenne de 1 micron) préalablement calciné à 450°C et pesé. Le matériel particulaire est pesé avant et après crémation à 450°C.

- *Chlorophylle a et phaeopigments*

Dosage par fluorimétrie selon la méthode de Yentsch et Menzel (1963) reprise par Neveux (1983).

3. RESULTATS

Nous exposerons tout d'abord les résultats des observations faites en surface et au fond et de celles concernant la variabilité journalière. Etant donné l'importance de cette dernière, le caractère ponctuel de nos prélèvements ne nous permet pas d'avoir une bonne représentation de l'évolution saisonnière des paramètres suivis. Il nous a cependant semblé possible de définir des évolutions moyennes qui permettent de mettre en évidence des tendances générales. Elles ont été obtenues en calculant les moyennes mensuelles des observations faites au cours de ces sept années toutes stations confondues.

En revanche, effectués au même moment dans les stations étudiées, nos prélèvements permettent de caractériser ces dernières. Nous avons vu précédemment que la croissance des moules pouvait être très différente selon l'emplacement des bouchots et l'année. Nous essaierons de rapprocher les caractères du milieu étudiés des performances observées. Nous considérerons dans cette analyse seulement les années 1989 à 1993 au cours desquelles la méthode des paniers a été utilisée, et seulement la période printanière (mars à juin) du fait de la croissance plus importante à cette période.

3.1. COMPARAISON SURFACE ET FOND ET VARIABILITE JOURNALIERE

Les données se rapportant au niveau ont été recueillies dans les bouchots de Marsilly au cours des cycles des 3 et 22 octobre 1985, avec des coefficients de marée respectifs de 76/71 et 39 et des hauteurs d'eau de 0,50 à 4 mètres selon le lieu et le moment de la marée. Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les températures et les salinités de surface et celles du fond. Il en est de même pour la chlorophylle bien que l'on constate parfois des écarts non négligeables, les teneurs étant, le plus souvent, un peu plus élevées au fond. En revanche, les phaeopigments et le matériel en suspension sont significativement plus importants au fond. Ceci peut s'expliquer par la présence dans ce secteur de sédiments fins qui sont facilement remis en suspension et sur lesquels doivent vraisemblablement reposer la plus grande partie des phaeopigments.

La variabilité journalière a été étudiée en 1986 dans les bouchots de Marsilly au cours des cycles de marée des 19 juin, 2 juillet, 29 août et 10 septembre avec des coefficients de 70/74, 47/48, 28 et 70/63. Chaque cycle comprenait un flot et un jusant. Pour la température et la salinité nous avons exploité les enregistrements réalisés par une sonde CSTD SUBER SLS 57. En 1989 et 1990 cet appareil a été fixé sur un pieu de bouchot pendant les mois de mars et avril; des relevés étaient effectués toutes les dix minutes.

- *Température*

Les écarts entre le minimum et le maximum observés au cours d'une même journée ne sont pas négligeables. Au cours des périodes étudiées, ils ont presque toujours été entre 0,5 et 2,0°C et ont parfois avoisiné 3°C et même 3,5°C. Les écarts entre la température moyenne d'une journée et celle du jour suivant sont moins importants, généralement inférieurs à 0,6°C (fig.22).

- *Salinité*

Les écarts de salinité au cours d'une même journée peuvent être considérables : des différences de 6 à 8 grammes par litre ne sont pas rares, les valeurs les plus faibles étant observées aux alentours de la basse mer. Les différences entre deux jours consécutifs sont moins grandes. Au cours des deux périodes d'étude elles ont été le plus souvent inférieures à 1 gramme par litre et n'ont dépassé que rarement 1,5 grammes (fig.23).

- *Seston, chlorophylle et phaeopigments*

Sur une période de douze heures nous avons observé pour chacun de ces paramètres des valeurs maximales qui peuvent être 1,5 à 4,5 fois plus élevées que les valeurs minimales. Cette différence peut même aller jusqu'à 8 fois pour la chlorophylle lors des blooms printaniers et automnaux. Aucun prélèvement instantané n'a permis d'avoir une représentation, même approchée, de la teneur moyenne correspondant à un cycle. En effet, au cours de ceux que nous avons suivis, les valeurs ponctuelles fluctuaient entre 0,3 et 2,5 fois la valeur moyenne calculée pour le cycle.

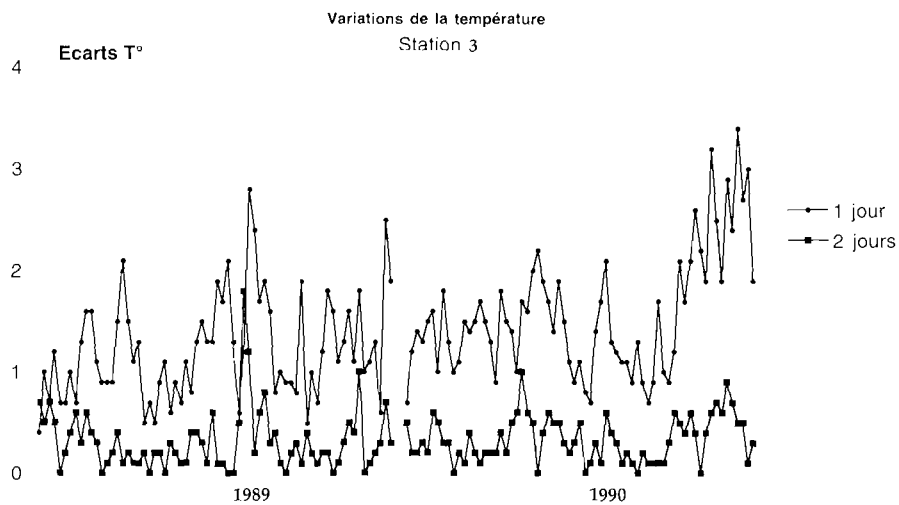


Fig.22 - Station 3. Variations de la température au cours d'une même journée (1 jour) et entre deux jours consécutifs (2 jours).
Périodes : 23 février - 2 mai 1989 et 3 mars - 9 mai 1990.

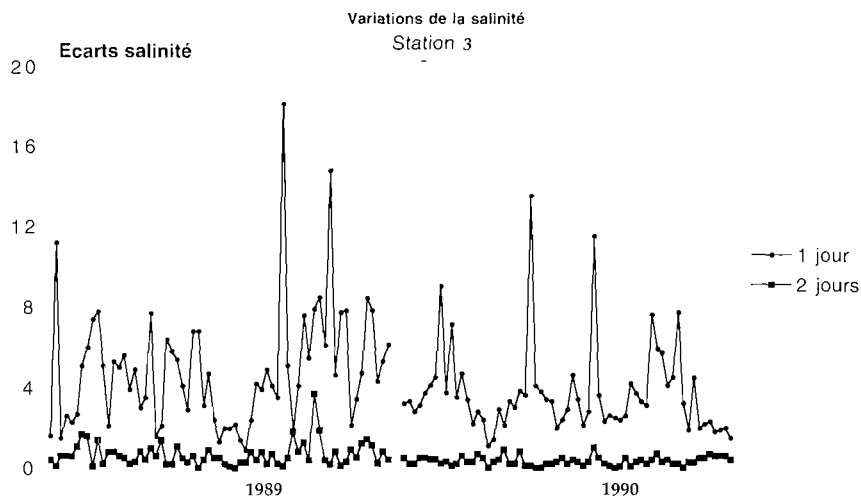


Fig.23 - Station 3. Variations de la salinité au cours d'une même journée (1 jour) et entre deux jours consécutifs (2 jours).
Périodes : 23 février - 2 mai 1989 et 3 mars - 9 mai 1990.

3.2. EVOLUTION MOYENNE ET RELATIONS DES PARAMETRES ENTRE EUX

• *Température*

La figure 24A présente l'évolution moyenne au cours de l'année. La température se situe généralement entre 5 et 10°C en décembre, janvier et février; elle augmente rapidement de mars à juin et atteint ses valeurs maximales, entre 20 et 22°C, au cours de l'été. Les températures extrêmes observées pendant la période d'étude ont été 3,6°C en décembre 1989 (station 5) et 24,5°C en juillet 1990 (station 5 également).

- **Salinité**

Les salinités les plus élevées sont observées en août et les plus faibles au cours des quatre premiers mois de l'année, particulièrement en janvier et février (fig.24B). Entre 1987 et 1993 les moyennes mensuelles hivernales et estivales ont avoisiné respectivement 31 et 35 grammes par litre et les valeurs extrêmes ont été 24 grammes en février 1988 à la station 3 et 37,8 grammes en août 1990 à la station 10. Les variations de la salinité sont relativement importantes, aussi bien au cours de l'année (valeurs mensuelles moyennes) que d'une année à l'autre (importance des écarts types). Ceci est dû à la position des stations étudiées : très proches de l'anse de l'Aiguillon, elles subissent l'influence de la Sèvre niortaise et des chenaux qui drainent les marais entourant cette baie.

- **Seston total et seston organique**

Les figures 24C et 24D visualisent l'évolution des teneurs moyennes mensuelles. L'importance des écarts types traduit la très grande variabilité de ces deux paramètres, particulièrement au printemps. Les concentrations extrêmes de seston total et organique observées pendant la période d'étude ont été :

- seston total : 4,62 et (station 10, août 1990) et 970 mg/l (station 5, mars 1990),
- seston organique : 0,60 et 236 mg/l (mêmes stations et mêmes dates).

Dans l'ensemble, on observe les valeurs les plus élevées de mars à mai, puis des pics secondaires moins importants en août et novembre. Le taux de particules minérales est très élevé. Il varie entre 32 et 99 % (moyenne : 79,9 % ; écart type : 9,41).

- **Chlorophylle et phaeopigments**

La chlorophylle a une évolution très nettement liée aux saisons : faible en automne et en hiver, elle est importante au printemps avec un maximum très prononcé au mois de mai (fig.24E). Une diminution est observée en juillet suivie en août d'un deuxième maximum beaucoup moins important que le premier. En ce qui concerne les valeurs ponctuelles, les plus faibles peuvent être inférieures à 0,1 mg/m³ et les plus élevées se situent souvent entre 20 et 35 mg/m³. Il est intéressant de remarquer que ces valeurs élevées sont assez proches de celles observées dans le nord de la baie de Bourgneuf (Haure, 1994).

Les phaeopigments ont aussi un cycle saisonnier mais il est moins marqué que celui de la chlorophylle (fig.24F). A l'instar de cette dernière un premier maximum, le plus important, est observé en mai et un second en août. En revanche, alors que la chlorophylle est très réduite en novembre, les phaeopigments atteignent à cette époque un troisième maximum qui coïncide naturellement avec les maxima des seston total et organique.

Afin de mettre en évidence des corrélations entre les paramètres entre eux, nous avons réalisé une analyse en composantes principales. Nous avons pris en compte toutes les données dont nous disposions (n = 708), quels que soient la station, la date et le moment du prélèvement par rapport à la marée. Toutefois, l'année 1992 pour laquelle nous n'avons pas de donnée concernant les pigments a dû être écartée.

Les variables étant de nature différente, l'A.C.P. a été réalisée à partir de la matrice de corrélations (données centrées réduites). La part d'information expliquée par les deux premiers axes principaux est proche de 70% ; trois axes représentent près de 85% (tableau 13).

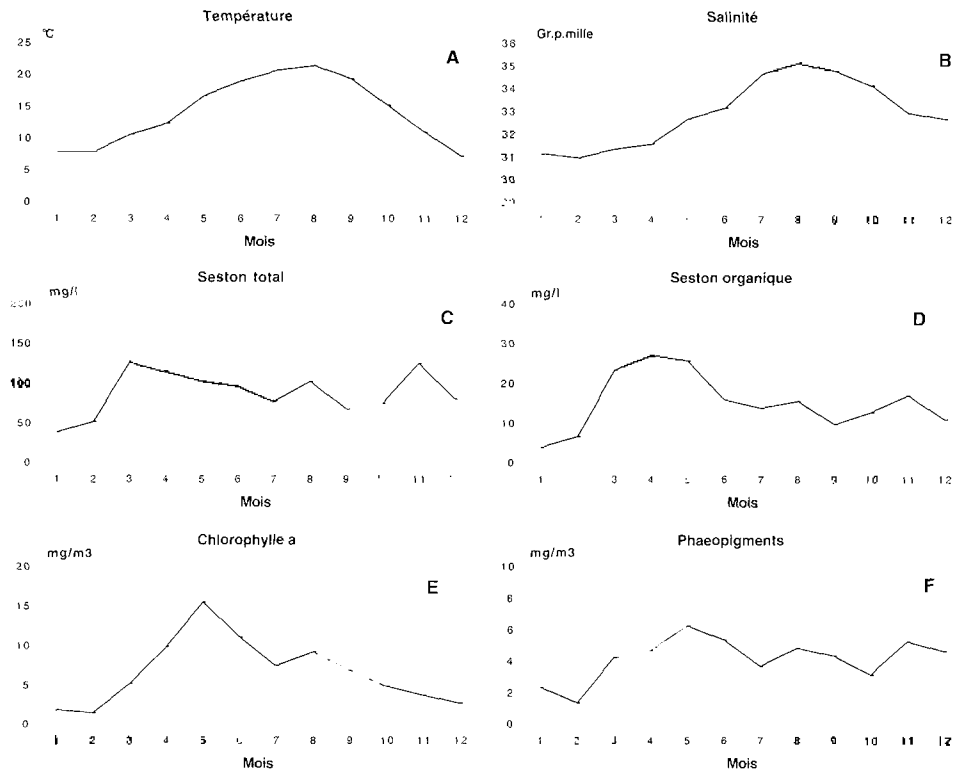


Fig. 24 - Cycles moyens de la température (A), salinité (B), seston total (C), seston organique (D), chlorophylle (E) et phaeopigments (F). Moyennes mensuelles et écarts-type.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Contribution (%)	48.8	20.4	15.5
% cumulés	48.8	69.2	84.7

Tableau 13 - Pourcentages de variations expliqués par les trois premiers axes principaux.

Toutes les variables sont bien représentées sur le plan 1-2 ($\sum r^2$ entre 0,65 et 0,80), excepté la chlorophylle qui ne l'est que médiocrement ($\sum r^2 = 0,43$). La figure 25 visualise le cercle des corrélations. Les variables les plus liées à l'axe 1 sont les sestons (total et organique), les phaeopigments et, dans une moindre mesure, la salinité. Les trois premières variables sont fortement corrélées et évoluent dans le même sens. En revanche, elles s'opposent à la salinité. Sur le deuxième axe on trouve la température qui n'est donc pratiquement pas corrélée aux facteurs précédents. Quant à la chlorophylle, elle contribue presque autant à chacun des deux axes, ce qui montre qu'elle est liée aux sestons et aux phaeopigments mais dépend aussi de la température. L'opposition entre la salinité et les paramètres traduisant l'abondance des particules peut s'expliquer par l'influence des prélèvements réalisés en fin de jusant ou aux alentours de la basse mer. La salinité à ce moment est faible à cause de la proximité des divers exutoirs du marais poitevin alors que la turbidité est plus forte. Une A.C.P. réalisée en éliminant ces prélèvements supprime effectivement toute relation avec la salinité qui ne contribue alors qu'à l'axe 2.

Nous avons aussi effectué une analyse de variance ne portant que sur les caractéristiques du milieu observées au cours de ces trois années pendant la période de croissance printanière. Les résultats confirment une différence hautement significative du seston et des phaeopigments entre la station 5, où les concentrations sont plus élevées, et les stations 3 et 10 qui sont très voisines, la station 10 présentant toujours les teneurs les moins fortes. En revanche, la chlorophylle est comparable dans les trois stations. En ce qui concerne les années, 1989 se distingue significativement par une richesse en chlorophylle et phaeopigments plus grande et une concentration en seston (total et organique) plus faible. Quant à 1990 et 1991, la première est plus riche que la seconde en seston organique mais plus pauvre en chlorophylle et phaeopigments. Le tableau 14 représente schématiquement ces différences.

	Sest.total	Sest.org.	Chlorophylle	Phaeopigments
1989	X		X X X	X X X
1990	X X X	X X X	X	X
1991	X X X	XX	XX	XX

Tableau 14 - Importance du seston et des pigments, matérialisée par le nombre de croix, au cours des printemps 1989, 1990 et 1991.

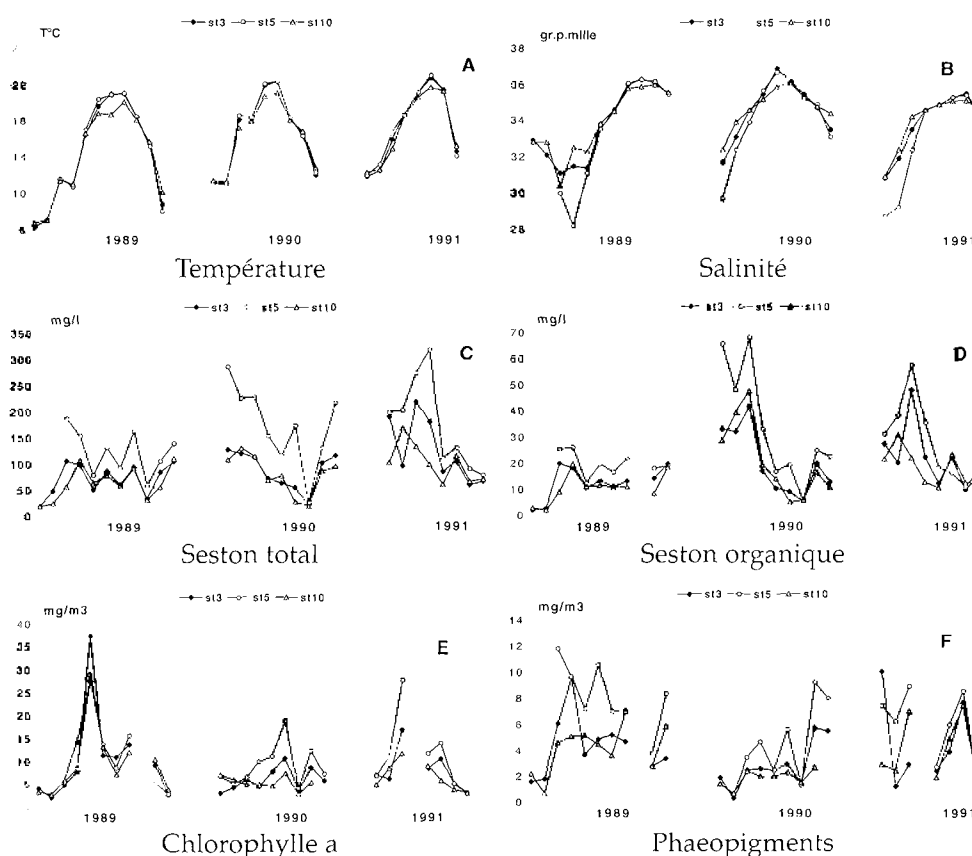


Fig. 27 - Evolution de la température (A), de la salinité (B) et des teneurs en seston total (C), seston organique (D), chlorophylle a (E) et phaeopigments (F) en 1989, 1990 et 1991 aux stations 3, 5 et 10 (moyennes mensuelles).

V. RELATIONS CROISSANCE - ENVIRONNEMENT

1. CROISSANCE ET MILIEU

Les relations entre la croissance et les paramètres du milieu ont été étudiées à l'aide d'une A.C.P. dans laquelle la croissance a été introduite en variable supplémentaire. Seule la période printanière a été considérée car l'évolution plus rapide des moules à cette époque permettait de mieux mettre en évidence des liaisons existantes. La croissance a été exprimée sous forme de gains de taille et de poids quotidiens. En effet, les moules utilisées avaient toutes le même âge (9 à 10 mois au moment de la mise à l'eau) ; elles étaient originaires du même secteur géographique et calibrées entre 30 et 40 mm. En revanche, des contraintes logistiques diverses ont induit des durées d'élevage sensiblement différentes : entre la mise à l'eau et le premier contrôle effectué en juin - juillet il s'est écoulé entre 88 et 129 jours. Il était donc nécessaire de rapporter la croissance observée à la même unité de temps. Quant aux variables du milieu, elles ont été représentées par la moyenne des observations faites au cours de la même période.

La part d'information expliquée par le plan principal est 87.3%. La figure 28 représente le cercle des corrélations. La croissance en longueur et en poids, très fortement corrélée à l'axe 2, s'oppose sur cet axe au seston total. En revanche, il n'y a apparemment pas de relation avec les pigments et le seston organique. Ces derniers s'opposent sur l'axe 1, ce qui à première vue surprend mais concorde avec les observations faites au cours des printemps de ces trois années et visualisées sur la figure 26.

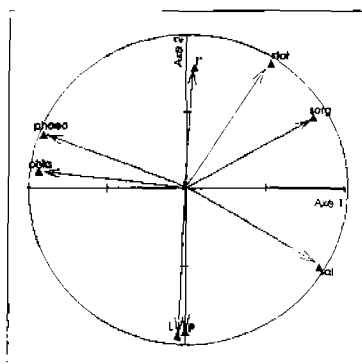


Fig. 28 - Cercles des corrélations de la croissance avec les variables du milieu.

2. CROISSANCE ET BIOMASSES

Les résultats des cinq années (1989 à 1993) ont été considérés, ce qui a nécessité d'écartier les variables "chlorophylle" et "phaeopigments" dont nous ne connaissons pas les valeurs en 1992. Comme précédemment, nous avons réalisé une A.C.P. avec la croissance en variable supplémentaire. Les biomasses sont celles évaluées au printemps dans chaque secteur.

Le plan 1-2 explique près de 72% de l'information et la figure 29 visualise le cercle des corrélations. La croissance est toujours opposée au seston mais ne semble pas avoir de liaison avec les biomasses. La position géographique des stations étu-

diées conduit à penser que la station 5 est beaucoup plus susceptible que les autres de subir une éventuelle influence de la biomasse présente. Nous avons donc effectué une A.C.P. en considérant seulement les données de la station 5. Aucune relation croissance -biomasse n'a été mise en évidence.

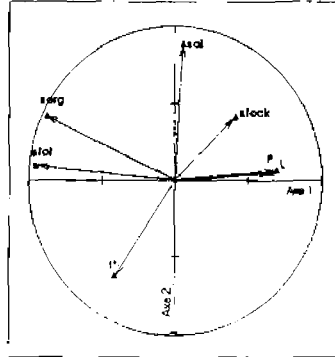


Fig. 29 - Cercle des corrélations de la croissance avec les biomasses.

3. DISCUSSION

Il y a abondance de données dans la littérature sur l'alimentation des mollusques filtreurs qui peuvent utiliser des substances dissoutes mais vivent, pour l'essentiel, aux dépens des particules en suspension, c'est à dire du phytoplancton et du matériel organique d'origine diverse : zooplancton, bactéries, détritiques ... etc.

De nombreux travaux ont été réalisés sur l'influence de la quantité et de la qualité de ces particules. Parmi les auteurs, nous pouvons citer Bayne et Worrall (1980), Bayne et al. (1989 ; 1993), Foster-Smith (1975), Kiorbe et Mohlenberg (1981), Kiorbe et al. (1981), Murken (1975), Page et Ricard (1990), Navarro et al. (1991), Widdows et Bayne (1971), Widdows et al. (1979). D'une manière générale, lorsque la concentration du seston augmente, la vitesse de filtration augmente aussi, jusqu'à un certain seuil, et il en est de même pour le matériel filtré et ingéré. A partir d'une certaine turbidité, une fraction de ce matériel commence à être rejetée sous forme de pseudofèces. Cette production va en augmentant et atteint un maximum au delà duquel elle diminue, en liaison avec le ralentissement de la filtration, alors que la turbidité continue de croître. L'assimilation du matériel ingéré aurait aussi un rendement inversement lié à la concentration du seston et aux quantités absorbées.

En ce qui concerne la qualité du matériel en suspension, il a été montré que l'apport de particules minérales améliorerait le régime alimentaire des moules élevées en laboratoire, mais ce matériel "dilue" la matière organique particulaire et de ce fait diminue les quantités de matériel nutritif susceptible d'être ingéré. La moule est cependant capable de retenir préférentiellement les particules organiques d'un mélange et de compenser ce phénomène de dilution en augmentant sa vitesse de filtration et la production de pseudofèces tout en sélectionnant avec plus d'efficacité les particules organiques (Kiorbe et al., 1981 ; Bayne et al., 1993 ; Hawkins et al., 1996).

Quoiqu'il en soit, les résultats des études réalisées jusqu'à présent conduisent à penser qu'en dépit de son adaptation aux milieux turbides, la moule a une croissance ralentie lorsque les concentrations en seston deviennent trop importantes. Essink et Bos (1985) constatent une corrélation négative entre la croissance de

Mytilus edulis et la quantité de matières en suspension et Page et al (1990) observent aussi qu'en dépit d'une concentration élevée de chlorophylle la croissance de la moule peut être médiocre, ce qu'ils attribuent à une forte concentration de seston.

Compte-tenu de ce qui précède, nous pouvons donc considérer que la croissance plus faible observée à la station 5 est due aux fortes turbidités qui caractérisent cette dernière. Cette explication est vraisemblablement valable pour tous les bouchots situés dans des secteurs dont les conditions de milieu sont analogues.

Pour ce qui est de l'influence des biomasses présentes, de nombreuses études en milieux confinés ont montré que la croissance des bivalves est fonction de la ration alimentaire distribuée. L'apport de nourriture, en quantité comme en qualité, est même généralement considéré comme le facteur probablement le plus important. Le ralentissement de la croissance et l'augmentation des mortalités observées en milieu naturel lorsque la densité des coquillages devient importante ont naturellement conduit à penser que la production conchylicole d'un bassin devait être, elle aussi, limitée par la quantité de nourriture disponible et qu'il était donc nécessaire de réguler les biomasses cultivées en fonction des potentialités trophiques des écosystèmes concernés (Incze et al., 1981 ; Carver et Mallet, 1990 ; Héral et al., 1990 ; Bacher, 1991).

Le fait que nous n'ayons pas mis en évidence une relation entre la croissance et les biomasses présentes sur le site ne veut pas dire que ce facteur n'a pas d'influence. Il est possible que les biomasses n'aient pas atteint le niveau au delà duquel les ressources trophiques deviennent insuffisantes, ce qui entraîne une baisse de la croissance. Il est tout aussi possible, et peut être plus vraisemblable, que la turbidité excessive du milieu ait un rôle tellement important dans la diminution des éléments nutritifs disponibles pour la moule qu'elle masque une éventuelle influence de la biomasse.

VI. CONCLUSIONS

Les suivis de croissance réalisés dans le Pertuis Breton ont montré que les rendements étaient constamment moins bons dans les secteurs situés les plus près de la côte, ceci à temps d'exondation identique. De nombreuses observations ayant montré l'importance pour le développement des mollusques de la quantité de nourriture disponible pour chaque individu, l'influence de trois facteurs jugés essentiels a été étudiée : les courants, qui assurent le transport des éléments nutritifs, la densité des animaux et la qualité du milieu.

Etant donné l'étendue des bouchots du Pertuis, il a fallu choisir un "site atelier" facilement accessible et comprenant des bouchots dont les rendements sont significativement différents selon leur emplacement. Les résultats sont résumés ci-dessous.

a) Les courants.

L'étude LCHF a effectivement montré un ralentissement des courants lorsque ceux-ci pénètrent dans les bouchots mais, probablement à cause de la densité moindre des pieux, ils reprennent de la vitesse dans les secteurs situés plus à terre. Ainsi, ce n'est pas là où les courants sont les plus faibles que les croissances sont les plus mauvaises, tout au moins dans le site étudié.

b) La densité.

Le stock de moules en élevage a fortement diminué entre 1989 et 1991, chute attribuée au manque de captage qui a sévi pendant trois années consécutives. En 1992, en dépit du mauvais captage 1991 mais grâce aux filières, la biomasse remonte et se maintient en 1993. Contrairement à ce que l'on aurait pu prévoir, la croissance n'a pas été meilleure au moment où les stocks étaient au plus bas.

c) Le milieu.

Le secteur où la croissance est nettement moins bonne se distingue par des concentrations en phaeopigments et seston (total et organique) significativement plus élevées alors qu'il n'y a pas de différence remarquable en ce qui concerne température, salinité et chlorophylle.

En résumé, dans le site étudié, la vitesse des courants et la quantité d'animaux présents sur les pieux ne semblent pas avoir atteint des limites entraînant un ralentissement de la croissance. Cette dernière, en revanche, semble étroitement liée à la qualité du milieu et en particulier à l'abondance du matériel en suspension.

Ces résultats doivent cependant être considérés avec une certaine réserve, à cause, notamment, de la variabilité des paramètres, des facteurs non pris en compte et du choix d'un site atelier.

Variabilité des paramètres. Elle peut être considérable dans un laps de temps court. Il est donc difficile d'avoir une idée relativement précise de la valeur moyenne d'un facteur pendant une période déterminée. Il est cependant possible de comparer entre elles les stations que nous avons étudiées puisque les prélèvements y ont été réalisés au même moment, mais les comparaisons interannuelles ne peuvent être qu'approchées et risquent même d'être erronées. En effet, elles reposent sur les résultats de prélèvements réalisés à l'instant "t", qui auraient très certainement été différents s'ils avaient été effectués à un autre moment. A ce propos, il n'est pas inutile de rappeler la nécessité, lorsqu'une étude de milieu est entreprise, de la poursuivre pendant une durée minimale que l'on peut évaluer à quatre ou cinq ans. On sait, en effet, que dans ces zones estuariennes la variabilité interannuelle peut être très importante mais, bien souvent, la période d'étude s'étale sur un ou deux ans, ce qui est notoirement insuffisant.

Facteurs du milieu non pris en compte. Ils sont nombreux. Parmi eux nous pouvons retenir la qualité des particules organiques en suspension (taille, nature) et les éléments dissous. Pour ce qui est de la qualité des particules, ces dernières peuvent être abondantes sans pour autant avoir une valeur nutritive remarquable pour les moules. Quant aux éléments dissous, on sait depuis longtemps (Pequignat 1973, Jorgensen 1983) qu'ils peuvent représenter pour les moules une partie significative de leur nourriture.

Choix d'un site atelier. L'obligation de choisir un site expérimental facilement accessible et d'une superficie relativement restreinte nous a été imposée par la faiblesse des moyens nautiques dont nous disposions à l'époque. Ce choix a eu pour inconvénient de nous obliger à nous cantonner dans la partie sud du Pertuis dont nous avons vu que les conditions de sédimentation sont différentes de celles qui règnent plus au nord, le long de la côte vendéenne. Si, dans les bouchots étudiés, l'influence néfaste de la turbidité ne fait aucun doute, il est tout à fait concevable que les rendements médiocres constatés dans d'autres secteurs ne soient pas dûs à la turbidité, ou ne le soient que peu, les paramètres ayant un rôle important pouvant être, entre autres, une densité excessive ou un ralentissement trop important des courants.

Il serait donc nécessaire de compléter cette étude par :

- une extension des suivis de croissance à l'ensemble du Pertuis ;
- une connaissance plus précise des facteurs du milieu : prélèvements plus fréquents, meilleure approche de leur variabilité en fonction de la saison et de la météorologie, notamment les vents dont on sait (Haure, 1994 ; Barillé, 1996) qu'ils ont une influence considérable sur la remise en suspension des sédiments fins ;
- la prise en compte des substances dissoutes ;
- une évaluation plus précise des quantités de moules présentes sur les pieux que rencontrent les courants avant que ceux-ci n'atteignent les stations expérimentales.

A propos de densité, l'utilisation des paniers supprime l'influence de la densité des moules sur le pieu lui-même. Il est vraisemblable qu'une limitation du nombre d'individus sur le support, à définir et sans doute variable selon l'endroit, permettrait d'améliorer les conditions de croissance.

L'aspect "qualité du mollusque", estimé par son taux d'engraissement, n'a pas été abordé non plus dans ce travail, excepté une description succincte de l'évolution de l'indice de condition sans qu'aucune relation ait pu être étudiée entre cet indice et certains facteurs environnementaux. Cependant, une certaine crise de la commercialisation due à la concurrence d'autres secteurs de production conduit la Profession à prendre de plus en plus en compte la notion de qualité qui pourrait permettre de résister aux contraintes du marché. Il serait donc intéressant de connaître les conditions qui permettent d'obtenir, comme de maintenir, une qualité satisfaisante.

En résumé, bien que l'on ne puisse écarter l'hypothèse d'une influence de la densité et des courants, les travaux rapportés ici montrent que dans la zone étudiée cette influence n'est pas prépondérante. Les croissances médiocres apparaissent fortement liées à la qualité du milieu, et en particulier à l'abondance des particules en suspension dont le rôle négatif serait beaucoup plus important qu'on ne l'avait soupçonné au départ.

Cependant, les résultats de cette étude n'intéressent que la mytiliculture pratiquée dans les bouchots situés au sud du Pertuis Breton. Ils ne permettent pas de connaître à la fois les performances de croissance de l'ensemble du Pertuis et les facteurs qui en sont responsables. Il serait donc nécessaire de poursuivre cette recherche en l'étendant à tout le Pertuis, tout en s'efforçant d'avoir une meilleure connaissance du milieu. Il faudrait aussi prendre en compte les substances dissoutes, estimer plus précisément les biomasses (sur le pieu lui-même et sur les bouchots traversés par les masses d'eau avant que ces dernières n'arrivent à la station étudiée). Une étude de la qualité et des facteurs qui l'influencent serait aussi à envisager.

VII. AUTRES RECHERCHES A ENVISAGER

Les travaux qui viennent d'être exposés avaient pour objectif, rappelons-le, d'acquérir des connaissances qui permettraient d'améliorer la production mytilicole du Pertuis Breton. Ils ont concerné essentiellement l'aspect "croissance" : les facteurs qui l'influencent; les connaissances à approfondir.

Pour indispensable qu'elle soit, une optimisation de la croissance est cependant insuffisante. Outre la nécessité d'être en mesure de résoudre les problèmes liés aux mortalités et à la fourniture en juvéniles, une augmentation de la production conchylicole demande :

- de savoir utiliser au mieux les terrains exploités;
- de rechercher de nouveaux terrains exploitables avec les techniques traditionnelles ou nécessitant de nouveaux procédés.

Qu'en est-il pour le Pertuis Breton et quelles études seraient à entreprendre ? A l'heure actuelle, les principales difficultés auxquelles se heurte la mytiliculture dans ce bassin, outre l'hétérogénéité de la croissance, sont :

- un captage irrégulier;
- l'exhaussement des terrains;
- le développement de la culture sur filières.

a) Le captage irrégulier.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, le captage sur bouchots présente, depuis quelques années, un caractère de plus en plus aléatoire. Le recrutement a même été très faible pendant trois années consécutives (1989, 1990 et 1991), ce qui a mis en difficulté bon nombre d'entreprises. Une étude rétrospective réalisée en 1994 (Dardignac-Corbeil et Prou, 1995) a montré l'influence néfaste de l'évapotranspiration potentielle, qui représente la sécheresse de l'air, au moment de la fixation des jeunes moules. Mais des recherches approfondies devraient être entreprises pour, d'une part préciser l'action de ce facteur, d'autre part déterminer l'éventuelle influence d'autres éléments.

Les problèmes dus à l'irrégularité du captage sur bouchots ont été résolus avec les longues lignes mises en place en 1991 : le recrutement y est régulier et abondant. Mais en sera-t-il toujours ainsi ? D'où la nécessité de suivre l'importance du captage (sur filières et sur bouchots) selon les années et de rechercher les facteurs l'influençant.

b) L'exhaussement des terrains.

L'exhaussement des terrains est, dans cette région, un phénomène général et naturel. Inéluctable, il est dû, selon les endroits, aux importants dépôts de sable ou de vase et fait que les bouchots situés le plus près de la côte deviennent inexploitable. Les mytiliculteurs sont alors obligés d'opérer un "glissement", c'est à dire un déplacement de toutes les concessions concernées vers le large. Ces opérations, menées sans étude préalable, n'ont pas toujours eu le succès attendu. Du fait de la méconnaissance des courants locaux et des phénomènes de sédimentation qui leur sont liés, il est le plus souvent difficile de disposer les pieux de façon à optimiser la croissance tout en minimisant les risques d'engraissement et de nuisance pour les activités ostréicoles et mytilicoles voisines.

c) Le développement de la culture sur filières.

Il n'y a plus, dans le Pertuis Breton, de possibilité d'extension pour la mytiliculture sur bouchots. En 1991, des filières ont été installées en eau profonde pour une durée probatoire de cinq ans. En effet, l'état de nos connaissances concernant les caractéristiques du Pertuis (courantologie, sédimentation, capacité trophique, importance des biomasses de filtreurs cultivés et sauvages) ne nous permettait pas de savoir si une augmentation de la population de moules aurait une conséquence néfaste (diminution de la nourriture, envasement) sur les élevages voisins d'huîtres et de moules. En ce qui concerne la pêche, il n'était pas non plus possible d'apprécier les effets : influence sur les nourriceries de poissons, superficie disponible pour le chalutage amputée de 800 hectares.

Au terme de ces cinq années, aucun impact négatif n'ayant été observé, les filières vont être concédées normalement. Mais les questions précédemment posées sont toujours sans réponse et il n'est pas possible de dire si un agrandissement du lotissement peut avoir un effet malheureux. Il s'agit en fait de définir la quantité maximale de mollusques pouvant être élevés dans le Pertuis Breton sans voir diminuer leur croissance et leur engraissement. Ceci implique de concevoir un modèle prédictif qui pourrait représenter dans le temps l'évolution de cette biomasse en fonction d'un certain nombre de facteurs. Plus précisément, on ignore la quantité de nourriture disponible dans le Pertuis Breton pour les filtreurs, les facteurs dont dépend cette nourriture et l'ampleur des prélèvements effectués par les animaux. Ce dernier point demande que soient connus les besoins alimentaires de ces mollusques et l'importance des populations présentes, sauvages et cultivées. L'étude réalisée récemment par Barillé (1996) a conduit à l'élaboration d'un modèle physiologique de *Mytilus edulis*, permettant d'estimer les besoins trophiques de cette moule, et d'un modèle de production phytoplanctonique et microphytobenthique. Toutefois, ce dernier n'est basé que sur des hypothèses car les données concernant certains paramètres ne sont pas acquises.

EN RESUME :

La production mytilicole du Pertuis Breton peut très probablement être améliorée, mais ceci implique de résoudre les principales difficultés auxquelles se heurte la mytiliculture dans ce Pertuis. Des problèmes, parfois importants, peuvent résulter de mortalités anormales, de l'action de certains prédateurs (bigorneaux perceurs et étoiles de mer en particulier), ou de l'influence néfaste du parasite *Mytilicola* lorsque les conditions favorisent son développement. Cependant, à l'heure actuelle, il s'agit surtout :

- d'assurer un approvisionnement en juvéniles suffisamment abondant et régulier,
- d'obtenir une croissance optimale dans tous les secteurs,
- d'augmenter les superficies exploitables.

Ces trois points nécessitent des recherches appropriées que nous pouvons résumer :

Captage : recherche approfondie des facteurs qui influencent le captage sur bouchots et celui sur filières.

Optimisation de la croissance : poursuite des travaux entrepris en étendant l'étude à l'ensemble du Pertuis et avec une recherche plus précise des facteurs du milieu concernés et de leur évolution.

Extension des superficies exploitées : acquisition de données permettant l'élaboration d'un modèle de production. Ce dernier devrait permettre une meilleure gestion du Pertuis, avec notamment des estimations quant aux limites à ne pas dépasser en matière d'élevage sur filières puisqu'il n'est plus possible d'étendre la culture sur bouchots.

ANNEXE 1

PERTUIS BRETON. COURANTOLOGIE ET IMPACT DES BOUCHOTS SUR LES COURANTS

Résultats des études réalisées par le LCHF en 1959 et 1987.

1. ETUDE 1959

Au large de la Pointe du Grouin du Cou, le flot venant de l'entrée principale du Pertuis est dirigé au sud-est. Sur le profil plateau du Rocha-Pointe d'Arçay, il se sépare en deux veines : la plus nord se dirige vers l'est, dans le sillon que forment les isobathes -10 et -5 mètres, en direction de l'anse de l'Aiguillon ; l'autre, plus sud, longe la côte de l'île de Ré.

Le flot qui sort du Courreau de La Pallice porte au nord-nord ouest et nord-nord est. La veine principale est au nord-nord est ; l'autre se heurte au flot venant de l'ouest et, sous sa pression, est déviée vers l'est. Le partage des eaux provenant du Courreau avec celles venant de l'ouest se fait au large de la Pointe Saint Clément, sur une ligne orientée approximativement au 60. En fin de flot, dans toute la zone située à l'est de la ligne La Flotte-embouchure du Lay, les courants tournent vers la droite en direction du sud-est et du sud. Sur le profil de la bouée du Rocha ils tournent en sens contraire, vers la gauche. Il semble qu'il en soit de même à l'entrée du Pertuis. La figure 30 visualise les champs instantanés de courants, à mi-flot d'une marée de coefficient 102, calculés avec le modèle hydrodynamique de Salomon (1995).

Les courants de jusant sont symétriques des courants de flot. A la sortie de l'anse de l'Aiguillon ils s'évalent en éventail vers l'ouest et le sud-ouest. Sur le profil plateau du Rocha-Pointe d'Arçay les deux veines convergent, l'une venant de l'est, l'autre de l'est-sud est. En fin de jusant les courants tournent vers la gauche dans la partie est du Pertuis et vers la droite sur le profil du Rocha.

L'étranglement du Rocha apparaît donc comme la limite de deux bassins d'un régime assez différent. Dans le bassin occidental les courants sont alternatifs et réguliers, suivant approximativement l'axe du Pertuis ; dans le bassin oriental la circulation est commandée au jusant par l'appel du Courreau et au flot par celui de l'anse de l'Aiguillon et la poussée provoquée par le flux venant du Courreau.

Selon cette étude, l'ensemble du Pertuis recevrait un volume d'eau introduit par une marée de six mètres d'environ $1,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$; la seule zone située au sud-est recevrait approximativement $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ par le Courreau et $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ par l'ouest ; 17,5 % environ du total irait dans l'anse.

En ce qui concerne l'agitation, les houles dominantes viennent de l'ouest mais sont rapidement freinées en arrivant sur le plateau peu profond de la partie orientale du Pertuis. L'agitation prépondérante est celle provoquée par le vent local ; les plus fortes sont celles de sud-ouest, ouest-sud ouest, nord-nord ouest et nord-ouest.

2. ETUDE 1987

Cette étude, sous-traitée par l'IFREMER au LCHF, avait pour but de définir plus précisément les conditions courantologiques du secteur de bouchots situé au sud-est de la Sèvre niortaise et de déterminer un mode d'implantation des pieux (orientation, largeur des passes ...) susceptible de permettre une meilleure circulation des masses d'eau. Elle a comporté trois phases :

- une campagne de mesures sur le terrain destinée à définir les caractéristiques des courants dans le site étudié et obtenir ainsi les données nécessaires à la mise au point d'un modèle mathématique;
- la détermination des coefficients de pertes de charge à travers différentes configurations de bouchots à l'aide d'un modèle physique;
- la mise au point et l'exploitation du modèle mathématique.

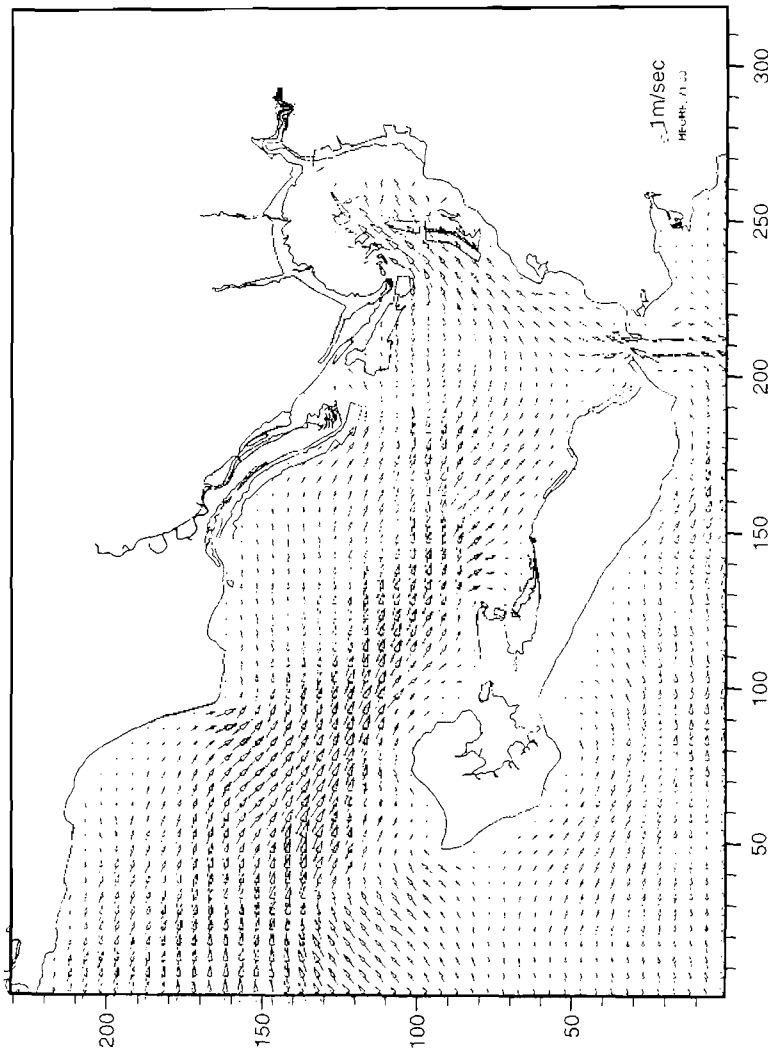


Fig.30 - Champs instantanés des courants à mi-flot d'une marée de coefficient 102 (Salomon, 1995).

2.1. LA CAMPAGNE DE MESURES SUR LE TERRAIN

Elle a permis de mieux connaître ou de remettre à jour :

- les caractéristiques de la marée,
- la courantologie de ce secteur et les modifications apportées par les bouchots,
- l'évolution de la sédimentation.

2.1.1. Caractéristiques de la marée

La marée est de type semi-diurne classique, mais assez fortement déformée, notamment pendant les périodes de mortes-eaux. Elle se caractérise par :

- en vives-eaux et en marées moyennes des étales de pleines mers longues et de basses mers plutôt brèves;
- l'apparition fréquente en mortes-eaux de deux pleines mers séparées par une légère dépression.

La renverse de flot a lieu généralement un peu avant la basse mer et celle de jusant bien après la pleine mer (30 à 90 minutes). Au flot la vitesse augmente très vite et atteint sa valeur maximale entre 1 et 2 heures après la renverse; elle diminue ensuite lentement et régulièrement. La vitesse de jusant s'établit assez rapidement puis garde une valeur à peu près constante. Les vitesses mesurées dans la zone d'étude lors de la mission effectuée en décembre 1984 ont été de l'ordre de 0.5 m/seconde.

2.1.2. Les courants

Un premier résultat important de l'étude, venu modifier la conception générale que l'on avait de la circulation des courants dans la baie, concerne la répartition des courants en provenance du large. Comme on le pensait déjà les eaux qui pénètrent dans la baie de l'Aiguillon proviennent en partie du Pertuis Breton, en partie du Courreau de La Pallice. Mais alors que l'on supposait que la ligne de séparation des eaux passait par le chenal de la Sèvre niortaise, il faut maintenant considérer, à partir des observations de trajectoires de flot qui ont été faites, que les eaux en provenance du Pertuis Breton alimentent également la zone située au sud-est du chenal de la Sèvre, et en particulier les champs de bouchots situés dans le périmètre de l'étude. On trouve le même partage au jusant.

En ce qui concerne la direction des courants, les bouchots ne modifient pas fondamentalement celle du flot qui dépend plutôt à la fois du coefficient de marée et du vent alors que cette relation n'est pas observée à l'extérieur des bouchots. En revanche, la direction du courant de jusant est relativement indépendante du coefficient de marée et du vent; elle est en fait plus tributaire de la ligne de plus grande pente des fonds et de la direction des files de bouchots.

Si les trajectoires sont peu ou pas modifiées par les bouchots, il n'en est pas de même des vitesses qui diminuent de façon très sensible, de l'ordre de 40% en moyenne, au passage dans les bouchots. A l'intérieur de la zone de bouchots on peut considérer que les vitesses de flot et de jusant sont du même ordre de grandeur (alors qu'à l'extérieur des bouchots les courants de flot sont supérieurs à ceux de jusant) et qu'elles sont augmentées pour les coefficients moyens et faibles de 30 à 50% quand les vents passent du secteur sud-est au secteur sud-ouest. Enfin, dans les bouchots plus à terre les courants reprennent de la vitesse, ce qui est vraisemblablement dû à une densité moindre des pieux dans cette zone et à un alignement des lignes par rapport à l'orientation générale des courants tel que les pertes de charge sont plus faibles.

2.1.3. Evolution de la sédimentation

En 1959, la mission LCHF avait procédé à un levé de la baie de l'Aiguillon. Avant cette date il faut remonter à 1864 pour disposer d'un relevé bathymétrique relativement complet, celui de Bouquet de la Grye. Entre 1864 et 1959, la surface de la baie a notablement diminué du fait de la poldérisation, surtout dans le secteur nord-ouest. Dans le secteur sud-est, le terrain conquis se limite à deux aires rectangulaires de 139 hectares situées entre Charron et Esnandes et à deux polders de 40 hectares sur les lais de mer d'Esnandes. La comparaison entre le levé de Bouquet de la Grye et celui du LCHF en 1959, avec cependant des réserves dues à la faible densité des cotes du levé de 1864, montre que pour la totalité de la baie de l'Aiguillon les atterrissements auraient été d'environ 70 millions de m³, soit un taux annuel moyen de 750 000 m³. Les dépôts les plus importants ont eu lieu en rive gauche du chenal de la Sèvre, au large de la Pointe Saint Clément, où ils ont atteint deux mètres, ce qui correspond à un taux annuel d'environ deux centimètres. Dans le chenal de la Sèvre les fonds ont peu varié là où la largeur du lit mineur est faible, c'est à dire sur les trois à quatre kilomètres en aval du Pavé de Charron. Plus au sud, là où le chenal commence à s'élargir, on constate la formation d'une sorte de barre dont la position correspond au confluent des canaux vendéens. Enfin, on remarque une tendance du chenal, à l'entrée de la baie, à se rapprocher de la Pointe de l'Aiguillon, ce qui pourrait s'expliquer par la présence des champs de bouchots très abondants sur la rive gauche qu'ils ont fixée, canalisant ainsi le courant dans la direction ouest-sud-ouest.

La tendance à la sédimentation entre 1959 et 1984 n'a pas été aussi générale dans le secteur de bouchots qu'entre 1864 et 1959. En effet, on observe dans la partie nord des bouchots et au-delà, ainsi que dans leur partie sud-ouest et au droit de la Pointe du Plomb, une sédimentation dépassant le mètre (en moyenne cinq centimètres par an). Par contre, entre ces deux zones, ce qui correspond à la partie centrale des bouchots, on assiste à une érosion qui n'a cependant pas dépassé en moyenne deux centimètres par an (fig.31). Cette zone d'érosion se prolonge sur une plus grande longueur entre la Pointe du Plomb et la Pointe Saint Clément, à l'est des bouchots. Ce couloir d'érosion entre les champs de bouchots et la côte, déjà amorcé avant 1959 devant la Pointe du Plomb, s'est vu accentué avec l'implantation de nouveaux bouchots à l'ouest et l'abandon partiel des bouchots situés à l'est.

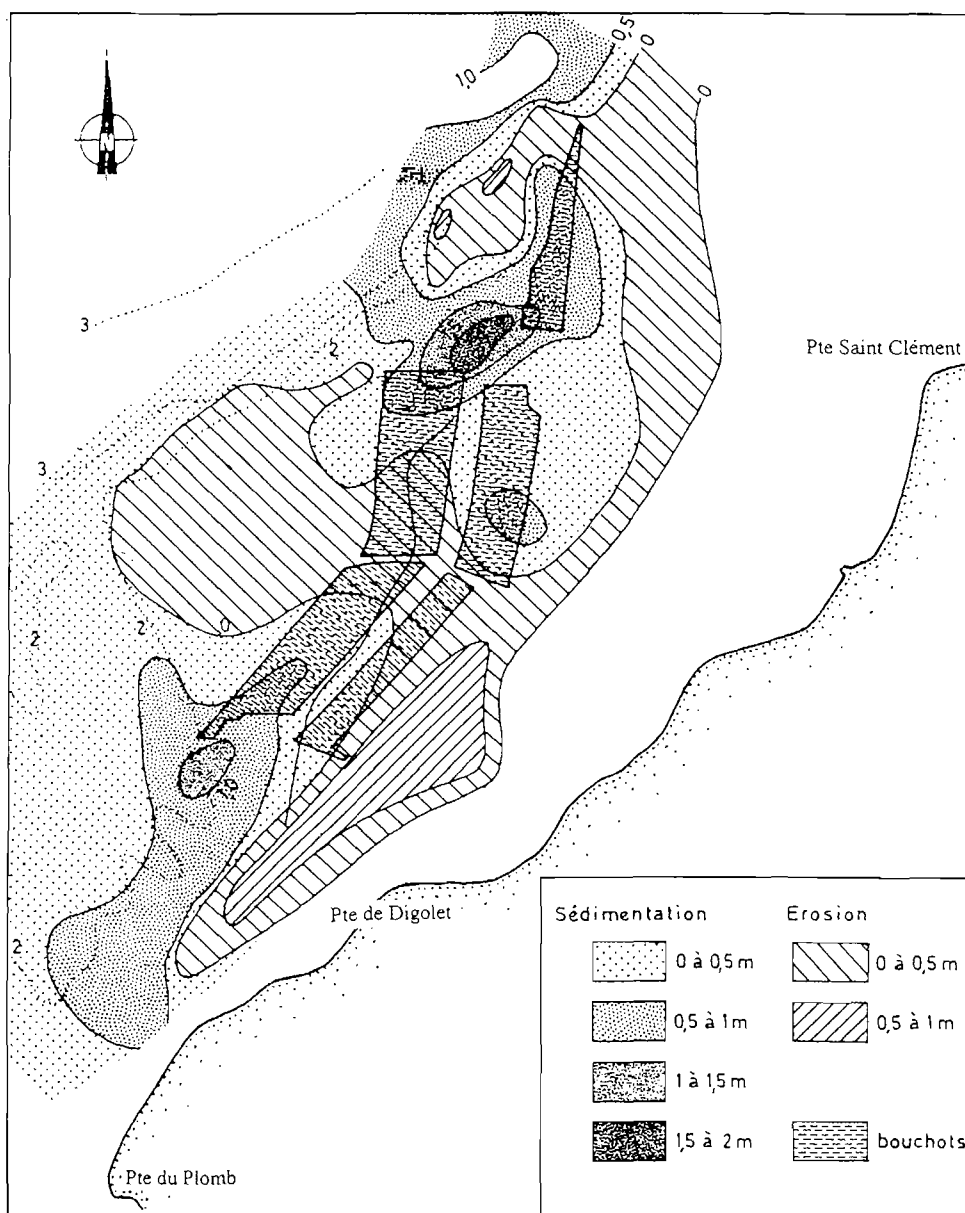


Fig. 31 - Evolution de la sédimentation entre 1959 et 1984 dans les bouchots de Marsilly.

2.2. DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE PERTES DE CHARGE

L'étude a été réalisée à l'aide d'un modèle physique. La campagne de mesures sur le site ayant montré que dans le secteur d'étude la cote d'arase des bouchots se situait généralement aux alentours de la cote +3m SH, deux hauteurs d'eau ont été retenues pour les essais :

- cote de marée voisine de +2m SH (environ 4h30 avant PM), les vitesses sont alors maximales et les bouchots partiellement hors d'eau ;
- cote de marée voisine de +4m SH (mi-marée), les vitesses sont alors plus faibles mais les bouchots sont entièrement immergés.

Les essais ont concerné :

- les orientations du courants (trois orientations par rapport aux lignes de bouchots, soit 30°, 60° et 90°);
- l'espace entre les pieux lorsque ceux-ci sont disposés sur une seule ligne (trois écartements, soit 0.7m, 1m et 1.20m) ;
- l'espace entre les rangées (20, 25 et 30 mètres);
- l'espace entre rangées (R) et pieux (P) lorsque ces derniers sont installés sur deux files; trois maillages ont été testés :

	P	R
M1	1.0 m	1.0 m
M2	0.7 m	0.7 m
M3	1.2 m	2.0 m

- le diamètre des pieux : 20 cm (pieu non garni) et 30 cm (pieu garni).

Les résultats sont donnés sous forme de coefficients de Strickler (k) pour lequel une formule été établie sur la base des résultats du modèle physique : la valeur de ce coefficient est d'autant plus faible que les frottements sont importants.

Résultats

Hauteur d'eau

Lorsque la hauteur d'eau passe de 2 à 4 mètres, la vitesse des courants diminue d'environ 6% : ($k_{4m} = 0.94 k_{2m}$).

Angle "courants - ligne de pieux"

Entre 90° et 60°, l'influence de l'angle est quasi nulle ($K_{60} = 1.01 K_{90}$) ; elle devient plus sensible entre 60° et 30° ($K_{30} = 1.07 K_{90}$). Autrement dit, lorsque l'angle d'incidence des courants passe de 90° à 30° la vitesse augmente d'environ 7%. Il n'y a pas eu de mesure faites pour un angle inférieur à 30° qui est probablement la condition pour obtenir une amélioration notable de la circulation dans les pieux.

Rangée simple - rangée double

Toutes choses étant égales par ailleurs (mais avec le double de pieux pour la rangée double puisque l'espace entre les pieux est le même pour chaque comparaison), lorsque l'on passe d'une rangée simple à une rangée double, la vitesse est diminuée d'environ 1/3 ($K_{rg.simple} = 1.3 K_{rg.double}$). Mais à nombre de pieux égal les calculs effectués avec la formule mentionnée précédemment indiquent que la disposition en double augmente d'environ 2 la valeur de k.

Distance entre pieux et entre rangées

Le passage d'un espacement de 0.7 à 1.2 m entre les pieux et de 20 à 30 m entre les rangées augmente respectivement le Strickler d'environ 6 (que les pieux soient disposés en rangées simples ou doubles) et 4.

Diamètre des pieux

L'augmentation du diamètre des pieux de 0.2 à 0.3 m crée un accroissement des pertes de charges qui se traduit par un rapport de 1.4 entre les deux Strickler : $K_{0.2} = 1.4 K_{0.3}$. La proportion de pieux garnis influencera donc fortement l'impact

dû à l'ensemble des bouchots. Une loi linéaire entre les valeurs extrêmes 0% et 100% a été établie. Quelle que soit la disposition, le fait de passer de 25% à 75% les bouchots non garnis augmente le Strickler d'environ 3 à 3.5.

Densité des pieux

Tous les résultats ont été ramenés à un même diamètre, une même hauteur et une rangée simple. On obtient la variation du Strickler en fonction du nombre de pieux N par unité de surface : $K = a\sqrt{N}$, "a" étant une constante indépendante de N . Les calculs montrent une diminution du Strickler de 7.5 et 1.5 lorsque la densité passe respectivement de 250 à 500 et de 1 250 à 1 500 pieux par hectare.

De l'ensemble de ces essais on retiendra principalement que :

- à nombre de pieux égal, les rangées doubles paraissent moins entraver les écoulements que des rangées simples;
- la hauteur d'eau, lorsqu'elle passe de 2 à 4 mètres, induit un ralentissement des courants ;
- le diamètre des bouchots paraît être un des facteurs prépondérants ;
- la densité des bouchots a aussi un rôle important ;
- l'angle d'incidence des courants ne prend de l'influence que lorsqu'il est inférieur à 30°.

Il faut noter enfin que chaque facteur pris individuellement n'a qu'une faible influence ; c'est leur combinaison qui permet d'apporter une amélioration de la circulation dans les bouchots.

2.3. RESULTATS DES ESSAIS SUR MODELE MATHEMATIQUE

L'étude sur modèle mathématique a permis de tester quatre configurations, deux portant sur des modifications de la bathymétrie et deux portant sur des modifications de la répartition des champs de bouchots.

La première configuration de bathymétrie testée a consisté en un approfondissement de 25 cm de la zone de bouchots (volume dragué : 1 350 000 m³). On n'observe pas de modification nette des vitesses, mais par contre les débits et les taux d'immersion sont augmentés d'environ 5%.

La deuxième configuration de bathymétrie testée a consisté en un dragage de un million de mètres cube, à l'est de la zone de bouchots. Elle a eu pour effet de nettement augmenter les flux traversant cette zone, le phénomène étant surtout sensible au jusant.

Les modifications de configuration du champ de bouchots ont consisté d'une part à faire glisser une partie des pieux vers le chenal, d'autre part à retirer 10 000 pieux. Le modèle a montré que cette dernière modification avait des conséquences négligeables sur les courants. Dans le cas du glissement, le nombre total de pieux ne change pas. La moitié des pieux existants sont simplement enlevés et remplacés plus bas sur l'estran, en avant de l'emplacement qu'ils occupaient précédemment, avec la même orientation mais une densité plus faible. Le fait de supprimer la moitié des pieux dans la zone la plus ancienne permet d'y conserver les mêmes vitesses malgré la présence du nouveau champ. A l'intérieur de ce dernier, étant donné la densité relativement faible des pieux, les vitesses sont diminuées mais de 10 à 20 % seulement. Ainsi une extension de bouchots accompagnée d'une diminution de la densité des pieux dans cette région du Pertuis Breton ne modifierait que peu la courantologie locale. Par contre, les nouvelles zones devraient bénéficier de l'apport de "veines" de courant qui actuellement passent au large du champ de bouchots et ne sont pas exploitées.

ANNEXE 2

CALCUL DES TAUX D'ÉMERSION

Afin d'éliminer une éventuelle influence du temps d'émersion, il était nécessaire d'effectuer nos prélèvements, et à partir de 1988 de fixer nos paniers, à un même niveau par rapport au zéro hydrographique.

Nous avons pour cela estimé la cote du sommet des pieux que nous utilisons et déterminé la distance entre ce sommet et le niveau que nous avons choisi : 1,50 mètre au dessus du zéro. Il était ensuite possible de déterminer le taux d'émersion correspondant. Des erreurs importantes peuvent cependant être faites dans l'estimation du niveau et, par voie de conséquence, dans celle du taux d'émersion.

1. Estimation du niveau théorique. Importance de la méthode utilisée

La cote du sommet des pieux a été obtenue en ajoutant la distance entre ce sommet et la surface de l'eau à la hauteur de la marée à l'instant de la mesure. Celle-ci a été calculée à l'aide de la formule de Laplace :

$$h = BM + a/2(1 - \cos t/T)$$

BM : niveau de la basse mer ;

a : amplitude de la marée ;

t : intervalle de temps entre l'instant de la mesure et l'heure de la basse mer ;

T : intervalle de temps séparant la pleine mer de la basse mer.

Ultérieurement nous avons repris ces calculs avec le logiciel SHOMAR, mis en service par le SHOM en 1991, qui utilise la formule harmonique :

$$h = Z_0 + \sum_i A_i \cos(q_i t + V_{0i} - G_i)$$

Z₀ : niveau moyen, rapporté au zéro des cartes, autour duquel oscille le niveau de l'eau ;

A_i et G_i : constantes harmoniques du port considéré (amplitude et situation à Greenwich de l'onde élémentaire qui ne dépendent que de ce port) ;

q_i : vitesse angulaire de l'onde élémentaire ;

V_{0i} : valeur de l'argument astronomique pour t = 0.

La précision de cette méthode dépend de la qualité des constantes harmoniques utilisées dont le SHOM considère qu'elle est actuellement la meilleure qui puisse être offerte. Le logiciel propose les constantes du port de La Rochelle et celles du port de Saint-Martin (Ile de Ré). Nous avons choisi ces dernières. La comparaison entre les résultats obtenus avec la formule de Laplace et ceux donnés par le programme SHOMAR met en évidence des écarts. Ceux-ci ne sont pas constants mais semblent varier avec le coefficient de la marée et l'heure. Il en résulte que le niveau auquel étaient installées les moules dont nous avons suivi la croissance n'était pas exactement 1,50 mètre mais situé entre 1,60 et 1,90 mètre.

2. Influence des conditions atmosphériques

La méthode utilisée pour évaluer le niveau d'un point donné repose sur les prédictions de hauteur d'eau fournies par l'annuaire des marées ou, avec plus de précision, par le programme SHOMAR. Ces prédictions peuvent s'écarter notablement de la réalité en raison des variations du niveau de la mer sous l'effet des perturbations atmosphériques : pression barométrique, force et direction du vent.

A titre d'exemple nous citerons les résultats d'enregistrements réalisés par une sonde CSTD SUBER SLS 57 fixée sur un pieu de bouchot. Le capteur est donc à un niveau constant, qui a été estimé à 1,22 mètre, et ce n'est que lorsque la hauteur de l'eau est inférieure à ce niveau que les mesures doivent être arrêtées. Effectivement, des mesures ont été enregistrées normalement à un moment où la hauteur d'eau est présumée être 1,39 mètre. Par contre, le dépouillement des données montre que le capteur a été hors de l'eau alors que, selon les prédictions, le niveau de l'eau devait être 1,79 mètre.

3. Conséquence sur le calcul du taux d'émersion

Le programme SHOMAR indique, pour une période considérée, les intervalles de temps pendant lesquels le niveau de la marée a été inférieur à une hauteur préalablement définie. Le taux d'émersion du capteur de la sonde SUBER, estimé installé à 1,22 mètre, a été calculé pour la période au cours de laquelle la sonde a été mise en service, c'est à dire du 25 mars au 3 juin 1993. Le résultat a été 2,63 %. Le dépouillement des données de la sonde a permis de connaître le taux réel d'émersion : 4,37 %. Cet écart non négligeable est dû à la détermination imprécise du niveau. En effet, une telle exondation correspond à celle d'un point situé à 1,45 mètre.

ANNEXE 3

Longueur (mm)	Effectif	Largeur		Epaisseur (mm)	
		Moyenne (mm)	écart-type	moyenne	écart-type
20	9	10.89	1.27	7.00	1.32
21	21	11.00	0.45	7.00	0.63
22	21	11.29	0.46	7.33	0.66
23	37	11.76	0.64	7.73	0.61
24	42	12.57	1.43	8.19	1.06
25	67	12.76	0.99	8.43	0.92
26	101	13.03	0.81	8.78	0.67
27	116	13.66	0.70	9.21	0.75
28	165	13.97	0.88	9.47	0.82
29	190	14.48	0.75	9.84	0.63
30	282	15.15	1.18	10.33	0.75
31	329	15.56	1.04	10.75	0.88
32	444	15.95	1.19	10.99	0.91
33	469	16.34	1.11	11.29	0.83
34	532	16.89	1.13	11.72	0.91
35	720	17.40	1.18	12.10	0.89
36	560	17.82	1.05	12.45	0.93
37	563	18.14	1.08	12.71	0.93
38	694	18.49	1.15	13.09	0.97
39	596	18.85	0.98	13.41	0.99
40	660	19.39	1.03	13.72	1.09
41	635	19.73	0.97	14.11	1.09
42	611	20.18	1.06	14.45	1.14
43	420	20.43	1.21	14.74	1.18
44	322	20.64	0.99	15.10	1.12
45	372	21.12	1.07	15.38	1.21
46	294	21.49	1.15	15.69	1.18
47	188	21.81	1.06	15.82	1.31
48	169	22.07	1.38	16.14	1.33
49	102	22.68	1.29	16.81	1.17
50	115	23.04	1.33	17.28	1.22
51	50	23.34	1.19	17.42	1.65
52	32	23.91	1.30	18.03	1.45
53	13	24.31	1.32	17.92	1.04
54	10	24.00	1.05	18.50	0.85

Largeurs et épaisseurs moyennes de moules dont la longueur est comprise entre 20 et 54 mm.

BIBLIOGRAPHIE

- Aguirre M.P., 1979 - Biología del mejillon ("*M.edulis*" de cultivo de la ria de Vigo). *Boletín Instituto español de oceanografía* T. 5 n°276 : 107-159.
- Bacher C., 1991 - Etude de l'impact du stock d'huîtres et de mollusques compétiteurs sur les performances de croissance de *Crassostrea gigas* à l'aide d'un modèle de croissance. *Conseil international pour l'Exploration de la mer, Mar.Sci.Symp.* **192** : 41-47.
- Baird R.H., 1966 - Factors affecting the growth and condition of mussels (*Mytilus edulis* L.). *Fishery Investigations, Ser.II*, **25** (2) : 1-33.
- Barillé A.L., 1996 - Contribution à l'étude des potentialités conchyliques du Pertuis Breton. *Thèse université Aix-Marseille II*, 312 p.
- Baud J.P., Lefrançois J. et J.Haure, 1990 - Evaluation des stocks d'huîtres (*Crassostrea gigas*) et des stocks de moules (*Mytilus edulis*) sur les gisements naturels et en élevage sur bouchots dans la baie de Bourgneuf (année 1988). *Rapport IFREMER RIDRV 90-35 RA/Bouin*, 65 p.
- Bayne B.L. et C.M. Worrall, 1980 - Growth and production of mussels *Mytilus edulis* from two populations. *Marine Ecology Progress series* **3** : 317 - 328.
- Bayne B.L., Hawkins A. J. S., Navarro E. et J. I.P.Iglesias, 1989 - Effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Ecology, Progress series* **55** (1) : 47 - 54.
- Bayne B.L., Iglesias J.I.P., Hawkins A.J.S., Navarro E. , Héral M. et J.M.Deslous-Paoli, 1993 - Feeding behaviour of the mussel, *Mytilus edulis* : responses to variations in quantity and organic content of the seston. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **73** : 813-829.
- Bayne B.L., P.N. Salkeld, C.M. Worrall, 1983 - Reproductive effort and value in different populations of the marine mussels, *Mytilus edulis* L. *Oecologia*, **59** : 18-26.
- Blateau D., Le Coguc Y., Mialhe E. et H. Grizel, 1992 - Mussel (*Mytilus edulis*) treatment against the red copepod *Mytilicola intestinalis*. *Aquaculture*, **107** : 165-169.
- Böetius I., 1962 - Temperature and growth in a population of *Mytilus edulis* (L.) from the Northern Harbour of Copenhagen (the Sound). *Meddelelser fra Danmark Fiskeri- og Havundersogelser N.S.* **3** : 339-346.
- Boromthanasarat S., 1986 - Les bouchots à *Mytilus edulis* (Linnaeus) dans l'écosystème estuarien du bassin de Marennes-Oléron (France) : aspects biologiques et bio-énergétiques. *Thèse Université Aix-Marseille II* - 142 p.
- Boromthanasarat S. et J.M. Deslous-Paoli, 1988 - Production of *Mytilus edulis* L. reared on bouchots in the bay of Marennes-Oléron : comparaison between two methods of culture. *Aquaculture*, **72** : 255-263.
- Brienne H., 1964 - Observations sur l'infestation des moules du Pertuis Breton par *Mytilicola intestinalis* Steuer. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* **28** (3) : 205-230.
- Carver C.E.A. et A.L. Mallet, 1990 - Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture. *Aquaculture*, **88** : 39 - 53.
-

- Dagnieli P., 1969 - Théories et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Vol.1 (378 p.). Vol.2 (451 p.). Ed. J. Duculot S.A. - Gembloux.
- Dardignac-Corbeil M.J., 1986 - La mytiliculture traditionnelle dans "Aquaculture" vol. 1 : 285-343. Coordonné par G. Barnabé. Edition Lavoisier.
- Dardignac-Corbeil M.J., 1996 - La mytiliculture dans le Pertuis Breton. Synthèse des travaux réalisés de 1980 à 1992. *Rapport interne IFREMER DRV-96.10-RA/L'Houmeau*, 95 p.
- Dardignac-Corbeil M.J. et M. Feuillet, 1974 - Croissance des moules de bouchots dans la baie de l'Aiguillon (premières observations). *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. C.M. 1974/K : 34.
- Dardignac-Corbeil M.J. et M. Feuillet, 1975 - Nouvelles observations sur la croissance des moules de bouchots dans la baie de l'Aiguillon. *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. C.M. 1975/K : 23.
- Dardignac-Corbeil M.J. et J. Mazurié, 1989 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1988. *Rapport interne IFREMER DRV-89.018-RA/L'Houmeau*, 17 p.
- Dardignac-Corbeil M.J. et J. Prou, 1995.- A propos des problèmes de captage de naissains de moules (*Mytilus edulis* L.) dans le Pertuis Breton de 1989 à 1991. Observations préliminaires. *Haliotis*, **24** : 13 - 31.
- Dare P.J., 1976 - Settlement, growth and production of the mussel, *Mytilus edulis* L., in Morecambe Bay, England. *Fishery Investigations*, Ser.II, **28** (1) : 1 - 25.
- Dare P.J. and G. Davies, 1975 - Experimental suspended culture of mussels (*Mytilus edulis* L.) in Wales using spat transplanted from a distant settlement ground. *Aquaculture*, **6** : 257 - 274.
- Davey J.T., 1989 - *Mytilicola intestinalis* (copepoda : cyclopoida) : a ten year survey of infested mussels in a cornish estuary, 1978-1988. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **69** : 823 - 836.
- Davey J.T. and J.M. Gee, 1976 - The occurrence of *Mytilicola intestinalis* (Steuer) an intestinal copepod parasite of *Mytilus* in the South-West of England. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **56** : 85 - 94.
- Emmett B., Thompson K. et J.D.Popham, 1987 - The reproductive and energy storage cycles of two populations of *Mytilus edulis* (Linné) from British Columbia. *Journal of Shellfish Research*, **6** (1) : 29 - 36.
- Essink K. et A.H.Bos, 1985 - Growth of three bivalve molluscs transplanted along the axis of the Ems estuary. *Netherlands Journal of Sea Research*, **19** (1) : 45 - 51.
- Foster-Smith R.L., 1975 - The effect of concentration of suspension and inert material on the assimilation of algae by three bivalves. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **55** : 411 - 418.
- Freeman K.R. et L.M. Dickie, 1979 - Growth and mortality of the Blue Mussel (*Mytilus edulis*) in relation to environmental indexing. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, **36** : 1238 - 1249.
- Frontier S., 1983 - Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson Ed. 494 p.
- Gee J.M. and J.T. Davey, 1986 - Experimental studies in the infestation of *Mytilus edulis* (L.) by *Mytilicola intestinalis* Steuer (copepode, cyclopoida). *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, **42** : 265 - 271.
- Gee J.M., Maddock L and J.T. Davey, 1977 - The relationship between infestation by *Mytilicola intestinalis* Steuer (copepoda, cyclopoida) and the condition index of

- Mytilus edulis* in Southwest England. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, **37** (3) : 300 - 308.
- Gillmor R.B., 1982 - Assessment of intertidal growth and capacity adaptations in suspended-feeding bivalves. *Marine Biology*, **68** : 277 - 286.
- Haure J., 1994 - Approche de la capacité trophique dans un bassin ostréicole (Baie de Bourgneuf). *Mémoire E.P.H.E.*, 110 p.
- Hawkins A.J.S., Smith R.F.M., Bayne B.L. et M.Héral, 1996 - Novel observations underlying the fast growth of suspension - feeding shellfish in turbid environments : *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress series*, **131** : 179 - 190.
- Hepper B.T., 1957 - Notes on *Mytilus galloprovincialis* Lamarck in Great Britain. *Journal of The Marine Biological Association of the United Kingdom*, **36** : 33 - 40.
- Héral M., Deslous-Paoli J. M., Prou J. et D.Razet, 1987 - Relations entre la nourriture disponible et la production de mollusques en milieu estuarien : variabilité temporelle de la colonne d'eau. *Haliotis*, **16** : 149 - 158.
- Héral M., Bacher C. et J.M. Deslous-Paoli, 1990 - La capacité biotique des bassins ostréicoles. Dans : "L'Homme et les ressources halieutiques" ed.par J.P.Troadec, IFREMER : 225 - 259.
- Hily C., 1976 - Ecologie benthique des pertuis charentais. *Thèse 3^{ème} cycle U.B.O. Brest*.
- Hockley A.R., 1951 - On the biology of *Mytilicola intestinalis* (Steuer). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **30** (2) : 223 - 232.
- Hosomi A., 1978 - A note on the vertical distribution of mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck. *The Japanese Journal of Malacology (VENUS)*, **37** (4) : 205 - 216.
- Incze L.S., Lutz A.R. et E.True, 1981 - Modeling carrying capacities for bivalve molluscs in open,suspended-culture systems. *Journal of the World Mariculture Society*, **12** (1) : 143 - 155.
- Jorgensen C.B., 1983 - Patterns of uptake of dissolved amino acids in mussels (*Mytilus edulis*). *Marine Biology*, **73** : 177 - 182.
- Kiorbe T. et F.Mohlenberg, 1981 - Particle selection in suspension feeding bivalves. *Marine Ecology,Progress series*, **5** : 291 - 296.
- Kiorbe T., Mohlenberg F. et O.Nohr, 1981 - Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **61** : 283 - 288.
- Koehn R.K., 1991 - The genetics and taxonomy of species in the genus *Mytilus*. *Aquaculture*, **94** : 125 - 145.
- Lawrence D.R. and G. I. Scott, 1982 - The determination and use of condition index of oysters. *Estuaries*, **5** (1) : 23 - 27.
- L.C.H.F., 1959 - Etude courantologique. D.D.E., La Rochelle.
- L.C.H.F., 1987 - Amélioration de la mytiliculture dans la baie de l'Aiguillon. Tome 1. : Campagne de mesures sur le site. Tome 2A. : Mise au point du modèle mathématique et compte-rendu des essais de détermination des pertes de charge. Tome 2B. : Résultats des essais sur modèle mathématique.
- Legallo J.Y., 1972 - Recherches sur les variations saisonnières de l'épifaune en baie de Bourgneuf. *Thèse 3^{ème} cycle. Université de Nantes*. 63 p.
- Levington J.S. and R.K. Koehn, 1976 - Population genetics of mussels. In B.L. Bayne (Editor). *Marine mussels, their ecology and physiology*. Cambridge University Press, Cambridge : 357 - 384.
-

- Lorin J., 1970 - Etude sédimentologique de la partie orientale du Pertuis Breton et de la baie de l'Aiguillon. Intérêt des minéraux lourds. *Thèse Univ. Bordeaux*, 177 p.
- Lubet P., 1959 - Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les mytilidés et les pectinidés (mollusque bivalves). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **23** (4) : 389 - 548.
- Mallet A.L., Carver C.E.A. et K.R.Freeman, 1990 - Summer mortality of the blue mussel in Eastern Canada : spatial, temporal, stock and age variation. *Marine Ecology Progress Ser.* **67** : 35 - 41.
- McDonald J.M., Seed R. et R.K.Koehn, 1991 - Allozymes and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern Hemispheres. *Marine Biology*, **111** : 323 - 333.
- McGrorty S. et J.D. Goss-Custard, 1991 - Population dynamics of mussel *Mytilus edulis* : Spatial variations in age-class densities of an intertidal estuarine population along environmental gradients. *Marine Ecology Progress, Ser.* **73** : 191 - 202.
- Mazurié J. et M.J. Dardignac-Corbeil, 1988 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1987. *Rapport interne IFREMER DRV - 88.002 - RA/L'Houmeau* : 30 p.
- Mazurié J. et M.J.Dardignac-Corbeil, 1990 - Stratégies d'échantillonnage pour l'estimation des stocks de moules sur bouchots (exemple dans le Pertuis Breton en 1988). *Communication orale. Symposium de Moncton (CIEM)*.
- Murken J., 1975 - Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. III Feeding of waste organic products from the fish industry of Bremerhaven as a means of recycling biodegradable wastes. *10th European Symposium of Marine Biology . Ostend 17 - 23 sept. 1979. Vol. 1* : 273 - 284.
- Navarro E., J.I.P. Iglesias, A.Perez Camacho, U.Labarta et R.Beiras, 1991 - The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in the ria de Arosa (Galicia, NW Spain). *Aquaculture*, **94** : 197 - 212.
- Neveux J., 1983 - Dosage de la chlorophylle a et des phaeopigments par fluorimétrie. Dans "Manuel des analyses chimiques en milieu marin" , Ed. CNEXO, Brest : 193 - 201.
- Page H.M. et Y.O. Ricard, 1990 - Food availability as a limiting factor to mussel *Mytilus edulis* growth in California coastal waters. *Fishery Bulletin U.S.*, **88** : 677 - 686.
- Pequignat E., 1973 - A kinetic and autoradiographic study of the direct assimilation of amino acids and glucose by organs of the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **19** : 227 - 244.
- Rodhouse P.G., Roden C.M., Burnell G.M., Hensey M.P., McMahon T., Ottway B. and T.H. Ryan, 1984 - Food resource, gametogenesis and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture ; Killary Harbour, Ireland. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **64** : 513 - 529.
- Salomon J.C., 1995 - Modèle hydrodynamique bidimensionnel, avec bancs découvrants et dispersion de rejets dissous, pour implantation au laboratoire côtier de L'Houmeau. Ifremer, Brest.
- Seed R., 1968 - Factors influencing shell shape in the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **48** : 561 - 584.
- Seed R., 1973 - Absolute and allometric growth in the mussel, *Mytilus edulis* L. (mollusca bivalvia). *Proceedings of the Malacological Society of London*, **40** : 343 - 357.

- Sukhotin A.A. and N.V. Maximovitch, 1994 - Variability of growth rate in *Mytilus edulis* L. from the Chupa Inlet (the White Sea). *Journal experimental Marine Biology Ecology*, **176** : 15 - 26.
- Theisen B.F., 1968 - Growth and mortality of culture mussels in the Danish Wadden Sea. *Meddelelser fra Danmarks Fiskeri-og Havundersogelsen N.S.*, **6** (3) : 47 - 78.
- Ursin E., 1963 - On the incorporation of temperature in the von Bertalanffy growth equation. *Meddelelser fra Danmarks Fiskeri-og Havundersogelsen*, **4** (1) : 1 - 16.
- Widdows J et B.L.Bayne, 1971 - Temperature acclimatation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, **51** : 827 - 843.
- Widdows J. et J.M. Shick, 1985 - Physiological responses of *Mytilus edulis* and *Cardium edule* to aerial exposure. *Marine Biology*, **85** : 217 - 232.
- Widdows J, Fieth P. et C.M.Worrall, 1979 - Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **50** : 195 - 207.
- Williams C.S., 1969 - The life history of *Mytilicola intestinalis* Steuer. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, **32** (3) : 419 - 428.
- Worrall C.M. and J. Widdows., 1984 - Investigation of factors influencing mortality in *Mytilus edulis* L. *Marine Biology Letters*, **5** : 85 - 97.
- Yentsch C.S. et D.W. Menzel, 1963 - A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep - Sea Research*, **10** : 221 - 231.
-

