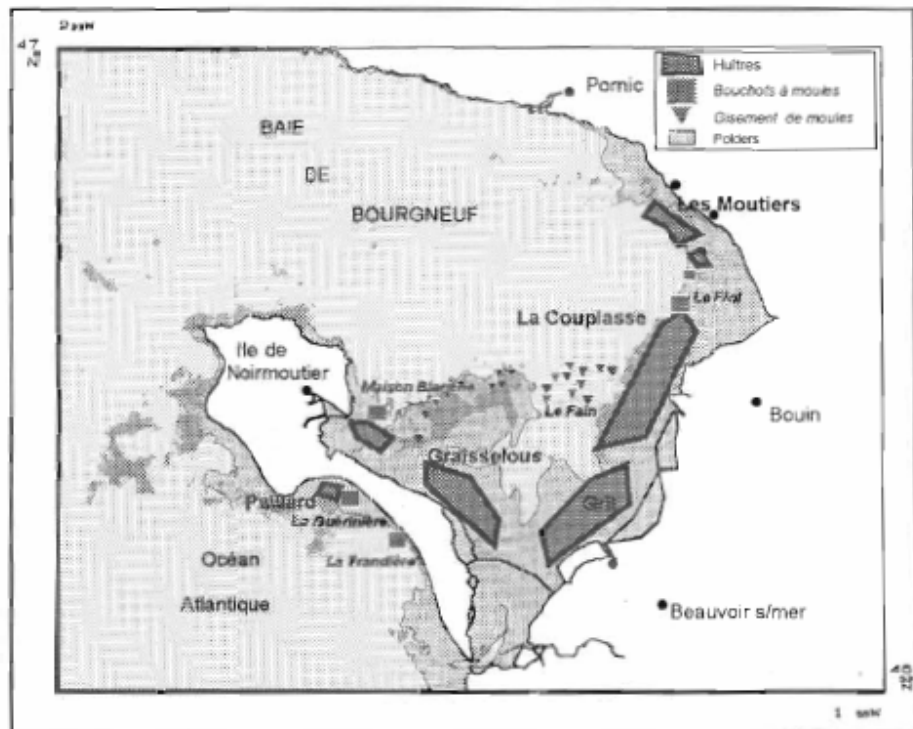


Direction des Ressources Vivantes

DRV/RA/RST/97-16

L'ostréiculture en baie de Bourgneuf

Relation entre la croissance des huîtres
Crassostrea gigas et le milieu naturel:
synthèse de 1986 à 1995



Anne-Laure Barille-Boyer, Joël Haure et
Jean-Pierre Baud

laes

RX

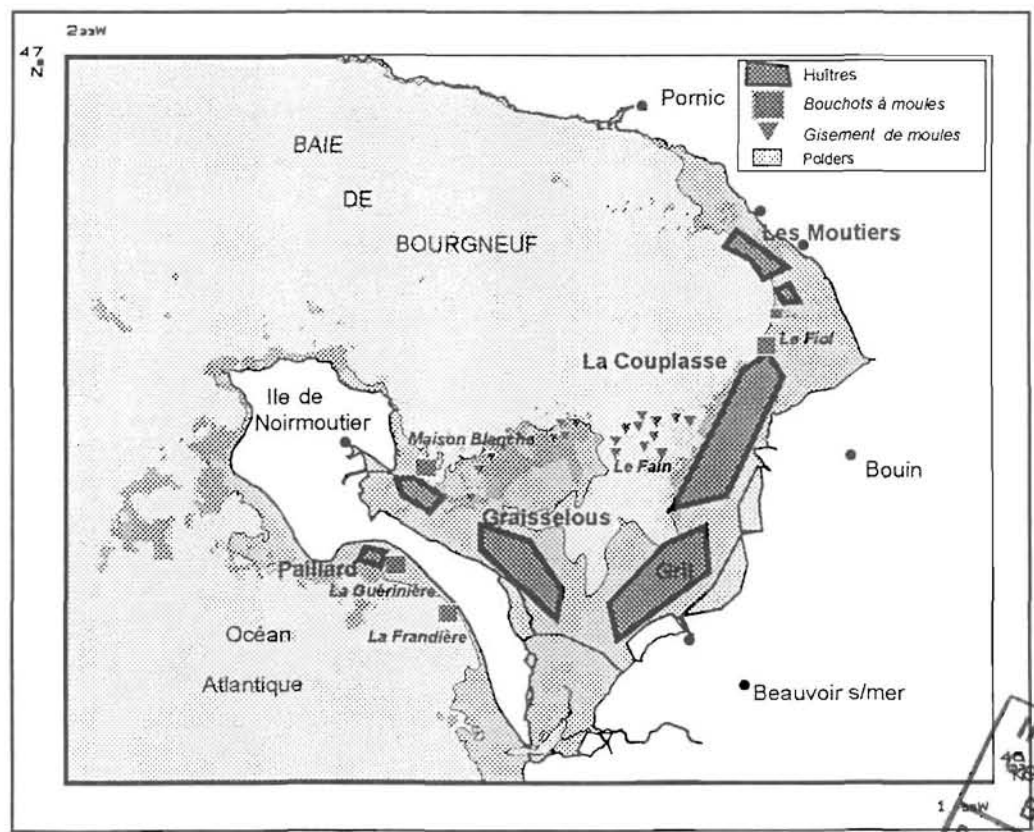
H762-2
BAR
0

L'OSTREICULTURE EN BAIE DE BOURGNEUF. RELATION ENTRE LA CROISSANCE DES HUITRES *CRASSOSTREA GIGAS* ET LE MILIEU NATUREL:

SYNTHESE DE 1986 A 1995

EXCLU DU PRÊT

Anne-Laure BARILLE-BOYER, Joël HAURE et Jean-Pierre BAUD



IFREMER-SDB
Centre de BREST
Bibliothèque
B.P. 70 - 29280 PLOUZANE

IFREMER-Bibliothèque de BREST



OBR34190

DRV/RA/RST/97-16

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : DRV/RA/RST/97/Num Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : Version du document :		date de publication Octobre 1997 nombre de pages 173 bibliographie (Oui) illustration(s) (Oui) langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport : L'ostréiculture en baie de Bourgneuf. Relation entre le croissance des huîtres <i>Crassostrea gigas</i> et la milieu naturel : Synthèse de 1986 à 1995. Titre traduit : Oyster culture in the bay of Bourgneuf (France). Relation between environment and the Pacific cupped oyster <i>C.gigas</i> : Synthesis from 1986 to 1995.		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom Anne-Laure BARILLE-BOYER Joël HAURE Jean-Pierre BAUD	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/ D.R.V/ R.A, L.C.P.L BOUIN.	
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire	
Travaux universitaires : diplôme : _____ discipline : _____ établissement de soutenance : _____ année de soutenance : _____		
Titre du contrat de recherche :Etude sur le modèle global conchylicole Organisme commanditaire : SMIDAP, Hotel de Région 1 Bd de la Loire 44067, NANTES cedex 02.		n° de contrat IFREMER Contrat SMIDAP N°9604435
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) 85230 BOUIN. Responsable scientifique : Jean-Pierre BAUD		
Cadre de la recherche : Programme : _____ Convention annuelle SMIDAP/IFREMER Projet : _____ Autres (préciser) : _____ Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		

SOMMAIRE

I	Problématique	1
	<i>A retenir</i>	3
II	Caractéristiques physiques de la baie de Bourgneuf.	4
II-1	Topographie	4
II-2	Hydrodynamisme	4
II-3	Influence du bassin versant et de la Loire sur la baie de Bourgneuf	9
II-4	Turbidité et sédimentation	14
	<i>A retenir</i>	18
III	Stock des mollusques de la baie de Bourgneuf	19
III-1	Etude des stocks de mollusques dans la baie de Bourgneuf	19
III-1-1	Données de production annuelle	21
III-1-2	Estimations des stocks d'huîtres creuses <i>Crassostrea gigas</i> .	24
III-1-2-1	Protocole	25
III-1-2-2	Résultats selon les secteurs et les types de culture	28
III-1-3	Estimation du stock de moules de gisements naturels	37
III-1-3-1	Protocole	37
III-1-3-1	Résultats selon les types de gisements naturels	39
III-1-4	Estimation du stock de moules cultivées sur bouchot	40
III-2	Influence des moulières naturelles sur la croissance des huîtres	42
	<i>A retenir</i>	45
IV	Croissance des huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf	47
IV-1	Mortalité et production biologique par poche ostréicole	49
IV-1-1	Protocole	51

IV-1-2 Production biologique "annuelle" _____	51
IV-1-3 Production biologique saisonnière _____	53
IV-1-3-1 Mortalité saisonnière _____	53
IV-1-3-2 Gains de poids saisonniers _____	55
IV-2 Croissance individuelle en poche _____	57
IV-2-1 Protocole _____	58
IV-2-2 Résultats _____	58
IV-2-2-1 Poids total _____	58
IV-2-2-2 Poids de coquille _____	60
IV-2-2-3 Poids de chair sèche _____	63
IV-2-2-4 Indice de condition _____	66
IV-3 Comparaison de la croissance des huîtres en baie de Bourgneuf avec d'autres bassins conchylicoles français _____	68
IV-4 Croissance des huîtres en système expérimental _____	70
IV-4-1 Protocole _____	70
IV-4-2 Résultats _____	71
IV-4-2-1 Comparaisons intersite et interannuelle _____	71
IV-4-2-2 Comparaison croissance module et croissance poche _____	73
 <i>A retenir</i>	78

V Hydrobiologie de la baie de Bourgneuf	84
--	-----------

V-1 Hydrobiologie de la baie de Bourgneuf _____	84
V-1-1 Protocole _____	84
V-1-1-1 Sites et années d'échantillonnage _____	84
V-1-1-2 Paramètres hydrobiologiques analysés _____	86
V-1-2 Résultats _____	87
V-1-2-1 pH _____	87
V-1-2-2 Salinité _____	87
V-1-2-3 Température _____	87
V-1-2-4 Le seston _____	90
V-1-2-5 Pigments chlorophylliens _____	96
V-1-2-6 Sels nutritifs _____	98
V-1-3 Elément nutritif limitant la production primaire en baie de Bourgneuf _____	108

V-2 Influence de la Loire sur l'hydrobiologie de la baie de Bourgneuf	112
V-2-1 Influence des concentrations en éléments nutritifs de l'estuaire de la Loire	112
V-2-2 Influence des débits de la Loire sur les éléments nutritifs de la baie	113
V-2-2-1 Débits de la Loire	113
V-2-2-2 Moyennes annuelles des éléments nutritifs dans la baie de Bourgneuf	114
V-2-3 Tendances évolutives des sels nutritifs dans l'estuaire de la Loire	116
V-2-3-1 Apports fluviaux en amont de la ville de Nantes	116
V-2-3-2 Apports de la ville de Nantes	117
<i>A retenir</i>	<i>118</i>

VI Analyse des peuplements phytoplanctoniques de la baie de Bourgneuf 121

VI-1 Evolution des microalgues de l'océan vers le littoral	121
VI-2 Evolution des microalgues du nord vers le sud	122
VI-3 Evolution saisonnière	122
VI-4 Evolution pluriannuelle en un point	123
<i>A retenir</i>	<i>129</i>

VII Qualité des mollusques en baie de Bourgneuf 131

<i>A retenir</i>	<i>138</i>
------------------	------------

VIII - Influence de la météorologie sur la baie de Bourgneuf	139
VIII-1 Cycle saisonnier	139
VIII-2 Variations annuelles des paramètres météorologiques	141
VIII-3 Relation entre les précipitations et le débit de la Loire	145

<i>A retenir</i>	<i>147</i>
------------------	------------

IX Relation entre les croissances annuelles des huîtres de la baie de Bourgneuf et les facteurs environnementaux de la baie	148
--	------------

IX-1 Analyse statistique 148

IX-2 Résultats sur l'hydrobiologie de la baie de Bourgneuf 149

IX-3 Résultats sur les mortalités d'huîtres dans la baie de Bourgneuf 151

IX-4 Résultats sur les croissances annuelles des huîtres 152

IX-4-1 Poids total 153

IX-4-2 Poids de coquille 155

IX-4-3 Poids de chair sèche 156

A retenir 158

X Conclusions générales	160
--------------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE 166

ANNEXES 174

Résumé :

La croissance des huîtres de la baie de Bourgneuf est étudiée sur 10 ans, de 1986 à 1995, en quatre points de la baie. Ces croissances sont mises en relation avec les stocks des principaux mollusques de la baie (huîtres cultivées et moules sauvages) ainsi qu'avec les facteurs environnementaux (hydrobiologie, courantologie et climatologie) afin de comprendre le fonctionnement de cet écosystème conchylicole.

Le temps de renouvellement des masses d'eau étant d'environ deux mois, la production primaire est essentiellement autochtone. La croissance phytoplanctonique est contrôlée par les sels nutritifs apportés par la Loire. Une part importante des microalgues est constituée par le microphytobenthos remis en suspension par les vents d'ouest. Les fortes charges sestoniques, mesurées au nord de la baie (150 mg/l en moyenne) ne permet pas aux huîtres d'utiliser l'important potentiel nutritif qui s'y développe (20 µg/l de chlorophylle a).

La diminution des performances de croissance des huîtres, observée depuis le début des années 1980 sur l'ensemble de la baie, résulte d'une surexploitation engendrée par un stock trop important d'huîtres en culture (45 à 50 000 tonnes). La pratique culturale (concentration des parcs ostréicoles, doubles rangées de tables ostréicoles et utilisation de collecteurs comme support de croissance) entraîne des densités supérieures à celles des autres bassins ostréicoles français aggravant le phénomène de surexploitation. Les gains de chair, accumulés pendant les périodes printanière et estivale sont perdus lors de la ponte ce qui explique la qualité variable des huîtres en fin d'année car les blooms automnaux sont exceptionnels en baie de Bourgneuf. Faute de recrutement local plus de 99% du naissain provient de Fouras dans le bassin de Marennes-Oléron. La production ostréicole commercialisée de la baie de Bourgneuf semble indépendante du stock d'huîtres en culture. Des mesures de gestion et de nouveaux axes de recherche sont proposés pour tenter d'améliorer le rendement ostréicole et la qualité des huîtres de la baie de Bourgneuf.

Mots-clés : *Crassostrea gigas, Baie de Bourgneuf, modèle global de croissance, écosystème conchylicole*

Abstract :

The oyster growth has been studied for a 10 year period, from 1986 to 1995, in four locations of the bay of Bourgneuf (French Atlantic Coast). The relations between oysters growth and the main molluscs stocks (cultivated oysters and wild mussels) or environmental factors (hydrobiology, currents, climatology) are analysed to understand the functioning of this shellfish ecosystem.

As the water renewal time is about two months, primary production is essentially autochthonal. Phytoplankton development is controlled by the nutrients brought by the river Loire. An important part of the microalgae is composed by the microphytobenthos resuspended by west wind. High seston concentrations, measured on the North of the bay (150 mg/l as an average), have a negative influence on the feeding physiology of the oyster. The important food development of this area (20 µg/l of chlorophyll a) cannot be fully exploited.

The decrease of the oyster growth rate, observed since 1980, on the whole bay, is due to an overexploitation induce by a too large cultivated oyster stock (45 to 50 000 tonnes). The cultural practices (concentration of oysters parks, double row of oysters tables, use of collector support for oyster growth) increase the oyster density and the overexploitation. The oyster meat, produced during spring and summer, is lost during spawning. As fall blooms are exceptional, the oyster quality at the end of the year is not satisfactory. There is no recruitment in Bourgneuf bay, and more than 99 % of the spat come from Fouras in the bay of Marennes-Oléron. The oyster production seems to be independent from the oyster stock. New research and management axes are proposed in order to improve the oyster quality in the bay of Bourgneuf.

Keywords : *Crassostrea gigas, Bay of Bourgneuf, global growth model, shellfish culture, ecosystem*

Commentaire :

REMERCIEMENTS

Cette étude a été partiellement financée par le Conseil régional des Pays de la Loire par l'intermédiaire du SMIDAP.

Les auteurs tiennent à remercier :

Les ostréiculteurs qui hébergent gracieusement nos expérimentations sur leurs parcs: Messieurs G. Billon, J. Bugeon, R. Chagneau, M. Gagneux et P. Musereau.

Les laboratoires IFREMER DEL (Direction de l'Environnement Littoral) de Nantes, et plus particulièrement Monsieur H. Gossel, Monsieur D. Claisse, Madame C. Belin et Monsieur C. D. Martial qui nous ont permis d'utiliser les résultats des réseaux de surveillance R.N.O. (Réseau National d'Observation des polluants chimiques et organiques), REPHY (Réseaux de surveillance du PHYtoplancton) et REMI (REseaux de surveillance des pollutions Microbiennes).

Monsieur B. Belliaeff du laboratoire IFREMER DEL de Nantes et Monsieur L. Barillé du laboratoire de biologie marine de l'Université de Nantes pour leurs conseils avisés en analyses statistiques.

Monsieur G. Thomas, du laboratoire IFREMER DEL de l'Houmeau qui nous a fourni les comptages de larves émises à Fouras dans le bassin de Marennes-Oléron.

Monsieur E. Goyard du laboratoire de pathologie génétique IFREMER de Ronces les Bains pour nous avoir permis d'utiliser les résultats du réseau REMORA (REseau national de suivi des MOllusques du département Ressources Aquacoles IFREMER).

Les Affaires Maritimes du quartier de Noirmoutier, service conchyliculture qui nous ont permis d'utiliser les résultats des différentes monographies concernant la baie de Bourgneuf et ont toujours répondu avec diligence et compétence à nos questions.

Monsieur Y. Rincé, du laboratoire de biologie marine de l'Université de Nantes, pour nous avoir aidé à déterminer la nature benthique ou pélagique des algues prélevées dans la baie de Bourgneuf.

Monsieur D. Robbe et Madame H. Legrand de la cellule qualité des eaux du service maritime de Loire-Atlantique pour nous avoir fourni les données hydrobiologiques des eaux littorales et des eaux conchylicoles de la baie de Bourgneuf et nous avoir permis d'utiliser les résultats du rapport "Indice des crues de la Loire sur la qualité des eaux littorales de Loire-Atlantique".

Madame M.A. Goraguer du service de santé environnement de la D.D.A.S.S. (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales) de la Loire-Atlantique, pour nous avoir fourni les données hydrobiologiques concernant les cours d'eau, les rejets, les eaux de baignade et les coquillages de la baie de Bourgneuf. De même nous souhaitons remercier Monsieur R. Soulard de la cellule qualité des eaux de la D.D.E. (Direction Départementale de l'Équipement) de Vendée qui nous a fourni ce même type de données sur la partie vendéenne de la baie de Bourgneuf.

Monsieur A. Favriau du Service de Bassin Loire Bretagne de la D.I.R.E.N. (Direction Régionale de l'Environnement) pour nous avoir fourni des débits moyens journaliers de la Loire à la station de Montjean de 1970 à nos jours.

Monsieur J.L. Cheze du service Central d'Exploitation de la Météorologie de Toulouse, ainsi que Monsieur J. Robert du centre départemental Météo France de la Roche sur yon qui nous ont fourni les données climatiques concernant les stations de l'Île d'Yeu, Noirmoutier, Saint Nazaire, Nantes, Bouin et Beauvoir de 1985 à nos jours.

Nous tenons à remercier également Monsieur P.G. Sauriau du C.R.E.M.A. (Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture) de l'Houmeau et Madame C. Marchand du Laboratoire de biologie marine de l'Université de Nantes qui nous ont prodigué leurs conseils avisés concernant l'écologie de la Loire.

Enfin, ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide de la bibliothèque IFREMER de Nantes, et plus particulièrement Madame A. Radenac, qui nous a toujours procuré les documents nécessaires à cette étude.

I Problématique

La baie de Bourgneuf, située au sud de l'estuaire de la Loire sur la façade atlantique, représente un site important pour l'économie régionale grâce à l'exploitation des ressources marines telles que l'ostréiculture, la pêche artisanale et la pêche à pied (Corlay & Robert, 1986). L'ostréiculture, principale ressource économique de ce bassin, s'y est développée à partir de 1947 profitant des vastes étendues d'estran (10 000 ha) qui découvrent à marée basse. La baie de Bourgneuf est un site ostréicole français important avec une production annuelle de 13 000 tonnes en 1995 (Goyard, 1996), qui représente 10 % de la production nationale.

Les grandes surfaces de polders et de marais qui bordent la baie sont une richesse supplémentaire pour l'aquaculture (Haure & Baud, 1995). A la fin de l'éocène, les transgressions océaniques successives ont peu à peu comblé le golfe de Challans et rattaché les îles de Bouin, Boisseau et Perrier au continent (Gruet *et al.*, 1992). La nature argileuse des sols a permis la construction de nombreuses salines qui ont fait la fortune de la région de la fin du XIV^{ème} jusqu'au XVII^{ème} siècle. Actuellement beaucoup de ces salines sont réaménagées en claires ostréicoles, permettant le stockage et l'affinage des huîtres. L'écologie de ces marais ou claires a fait l'objet de nombreuses études (Robert, 1974, 1975, 1977, 1983; Rincé, 1978; Maestrini & Robert, 1981). Une partie des polders accueille des industries aquacoles de pointe, telles que les écloséries et nurseries d'huîtres *Crassostrea gigas*. Ces installations bénéficient d'un renouvellement d'eau de mer quotidien géré par un système d'écluses et d'une nappe d'eau de mer fossile souterraine qui constitue un atout majeur pour ces nouvelles aquacultures. En effet, la température constante de cette eau (13° C) permet de réchauffer les élevages en hiver et de les refroidir en été. De plus, la qualité nutritionnelle de cette eau permet de produire en grand volume les microalgues qui alimentent les mollusques.

De nombreuses conditions sont donc réunies pour faire de la Baie de Bourgneuf un site ostréicole performant. Cependant, depuis le début des années 1980, une diminution importante des vitesses de croissance et des fluctuations dans l'engraissement des huîtres est constatée par les professionnels. Ces observations ont entraîné la mise en place d'un programme de recherche pluriannuel d'étude du bassin de Bourgneuf pour comprendre ce phénomène et tenter d'améliorer les rendements ostréicoles (Baud *et al.*, 1990). Il s'agit d'étudier les besoins nutritionnels des mollusques cultivés en fonction des ressources nutritives de la baie qui sont

sous la dépendance de paramètres physiques. Ces derniers, tels que la courantologie (L.C.H.F., 1989; Lazure, 1989, 1992) et la sédimentologie (Gouleau, 1968, 1971, 1975) ont permis l'élaboration d'un modèle d'érosion marine (Schéma de Mise en Valeur de la Mer- baie de Bourgneuf, SMVM 1994). Les ressources nutritives de la baie ont fait l'objet de nombreuses études, notamment en ce qui concerne les variations spatio-temporelles des éléments nutritifs, de la flore microalgale et de la turbidité (Marion, 1985; Marion & Robert, 1985; Baud *et al.*, 1990; Haure & Baud, 1995). Le zooplancton a été étudié par Corbeil (1968) et Cherfaoui (1973). L'évolution des stocks de mollusques présents dans la baie est suivie depuis 1982 par le laboratoire IFREMER de Bouin (St Félix *et al.*, 1983; Baud & Hommebon, 1987; Baud & Haure, 1987, 1988, 1989; Baud *et al.*, 1990). Les performances de croissance des huîtres *Crassostrea gigas* dans la baie de Bourgneuf sont étudiées depuis 1987 mais seuls les résultats des années 1987 (Haure & Baud, 1990) et 1990 (Haure & Baud, 1995) ont été publiés.

Il est alors apparu nécessaire de synthétiser tous ces travaux pour apprécier la qualité des informations fournies et estimer si elles étaient suffisantes pour expliquer le fonctionnement de l'écosystème conchylicole de la baie de Bourgneuf. Après avoir exposé les caractéristiques physiques de la baie de Bourgneuf, les estimations de stocks de mollusques et le suivi de croissance pluriannuelle des huîtres seront analysés. Ne disposant pas de longues séries chronologiques sur les paramètres hydrobiologiques de la baie, nous étudierons l'influence des facteurs météorologiques sur les variations de ces paramètres. Puis nous tenterons d'expliquer les variations de croissance des huîtres, observées entre différents sites de la baie et sur plusieurs années, en fonction des facteurs météorologiques fournis quotidiennement par Météo France. Une première analyse des performances de croissance de *Crassostrea gigas*, sur deux sites de la baie de Bourgneuf, en fonction des paramètres hydrobiologiques a été entreprise en 1990-1991 (Haure & Baud, 1995). Les processus mis en cause dans cet ouvrage seront vérifiés à l'aide de données pluriannuelles.

Cette analyse devrait permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème conchylicole de la baie de Bourgneuf. Au vu de ces résultats, des mesures de gestion du bassin et de nouveaux axes de recherche seront proposés afin d'améliorer le rendement ostréicole et la qualité des huîtres à la commercialisation.

Problématique

A retenir

Ce travail constitue la synthèse de dix années d'études effectuées par le laboratoire IFREMER de Bouin, sur la croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Ces croissances sont mises en relation avec tous les paramètres environnementaux actuellement disponibles (hydrodynamisme, évolution des stocks, pratiques culturelles, hydrobiologie et météorologie) afin de déterminer le ou les facteurs responsables de la diminution des croissances observées depuis les années 80. Cette analyse devrait permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème conchyicole de la baie de Bourgneuf. Au vu de ces résultats, des mesures de gestion du bassin et de nouveaux axes de recherche seront proposés afin d'améliorer le rendement ostréicole et la qualité des huîtres à la commercialisation.

II Caractéristiques physiques de la baie de Bourgneuf.

II-1 Topographie

La baie de Bourgneuf, d'une superficie de 340 km², est calée entre le plateau hercynien du pays de Retz au nord, l'île de Noirmoutier au sud-ouest (SO) et le marais Breton au sud-est (SE) (Fig. 1). Elle communique avec l'océan au nord, par une ouverture de 12 km avec une section mouillée de 130 000 à 200 000 m² et au sud par le goulet de Fromentine large de 800 m pour une section mouillée de 1 100 à 2 900 m² selon les marées. La zone intertidale (estran) vaseuse au nord et sablo-vaseuse au sud, occupe une superficie de 100 km². Un cordon rocheux (la Vendette) orienté nord-est (NO), entre la roche Bonnet (Bouin) et Fort Larron (Noirmoutier) sépare la baie en deux parties. Au nord, les fonds, d'une profondeur moyenne de 10 m, sont entrecoupés de trois chenaux orientés NO-SE: le chenal sud de la pointe de St Gildas (10-15 m); le chenal de la pierre (13-14 m) et le chenal du centre (13-17 m). Au sud, une zone immense d'estran sablo-vaseux, uniformément plat (cote de +1 à +3 m), découvre à marée basse. Seul le chenal du Fain, profond de 20 m et qui relie la partie nord à la partie sud de la baie, reste en eau quel que soit le coefficient de marée.

II-2 Hydrodynamisme

La baie de Bourgneuf est soumise à un cycle tidal semi-diurne dont l'amplitude atteint 6 m en vives-eaux (VE : coefficient de marée de 100) et 1,5 m en mortes-eaux (ME : coefficient de marée de 40). Le flot pénètre dans la baie par l'ouverture océanique nord, occupe toute la partie nord de la baie, puis se trouve freiné par la barre rocheuse de la Vendette et passe par le chenal du Fain pour venir occuper la partie sud de la baie (L.C.H.F., 1986; Baud & Haure, 1988). A mi-marée, les flots nord et sud se rencontrent au niveau du Gois jusqu'à submersion de celui-ci. Le jusant dominant le flot, la baie de Bourgneuf se vide rapidement (L.C.H.F., 1986).

La courantologie dépend en tout premier lieu de la marée mais est aussi fortement influencée par les vents et notamment ceux du secteur NO (S.M.V.M., 1994). Deux modèles mathématiques bidimensionnels horizontaux sont mis en œuvre simultanément: un modèle de grande emprise (maille de 1 km) destiné à mettre en évidence les échanges entre la baie de

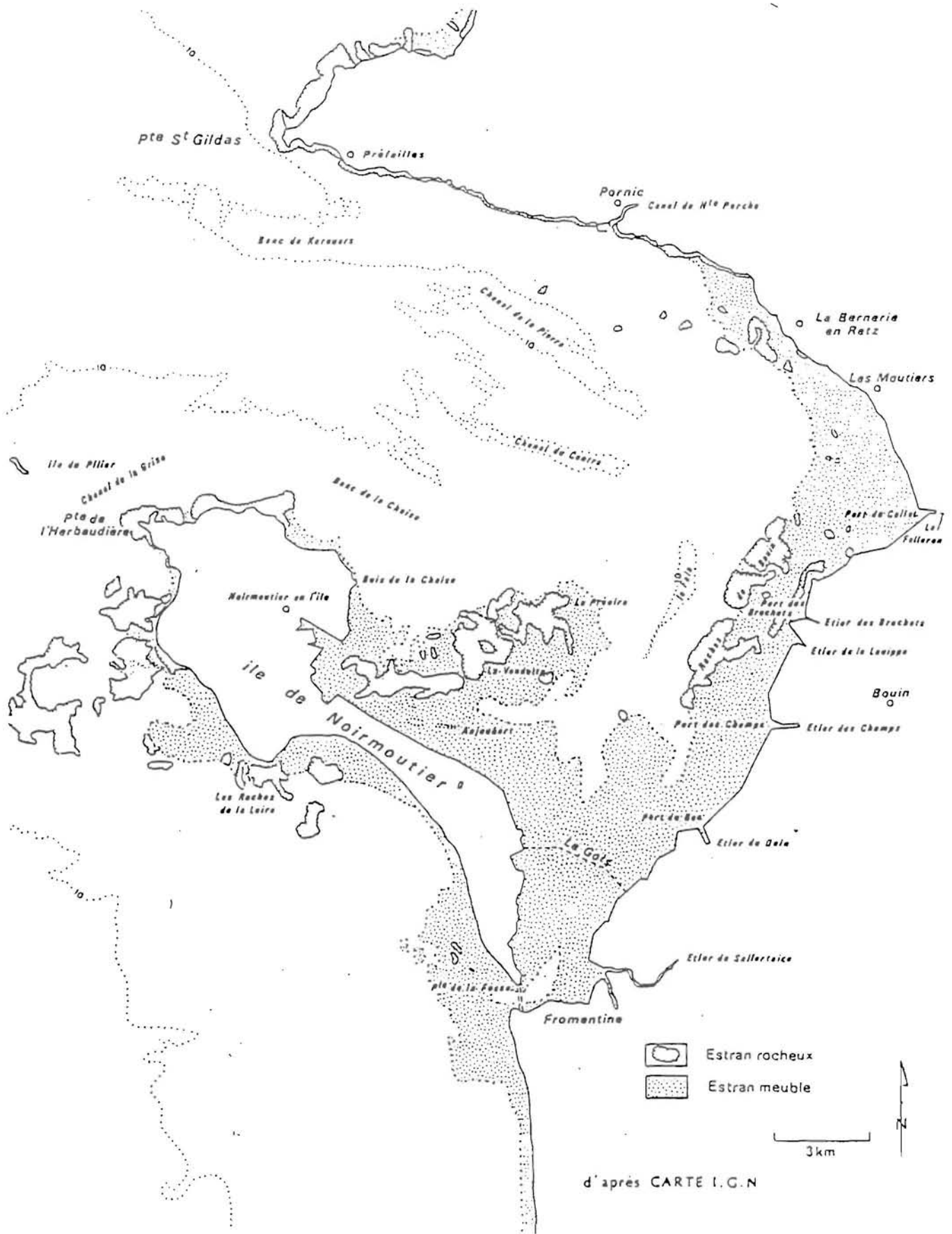


Figure 1: Topographie de la baie de Bourgneuf.

Bourgneuf et les zones environnantes et un modèle plus détaillé (maille 300 m) utilisé pour décrire les structures courantologiques à l'intérieur de la baie (Lazure, 1992). L'analyse des champs de courants instantanés (Fig. 2) montre que l'essentiel de l'eau arrive avec le flot puis repart en sens inverse lors du jusant. Les masses d'eau océaniques, plus salées, se mélangent assez mal avec les eaux de la baie de Bourgneuf. Ces dernières occupent l'estran à marée haute et le centre de la baie à marée basse. La carte des courants résiduels (Fig. 3) indique la résultante du déplacement des masses d'eau entre le flot et le jusant. Nous avons vu, plus haut, que l'essentiel de l'eau repartait par où elle était venue, la résultante est donc majoritairement nulle sur un cycle de marée. Seule une infime partie du flot arrivée par le nord et poussée par une importante masse d'eau passe au-delà du Gois et repart au jusant vers le sud. C'est ce processus que traduit la carte des courants résiduels. Cela explique que les courants de jusant au niveau de Fromentine soient toujours un peu plus forts que les courants de flot (Fig. 2). Il faut 2 mois pour que les eaux de la baie de Bourgneuf se vident petit à petit par le goulet de Fromentine et se renouvellent par les eaux océaniques au nord (Lazure, 1992).

Le modèle de grande emprise indique que le panache de la Loire se dirige généralement vers le nord, sans pénétrer dans la baie de Bourgneuf (Salomon & Lazure, 1988; Lazure, 1992). Mais les modèles mathématiques ont leurs limites et il est toujours délicat de rapprocher les mesures de terrain avec le résultat des simulations. La mesure représente la somme d'une multitude de mécanismes physiques tandis que le modèle n'en reproduit qu'un petit nombre (Salomon & Lazure, 1988). Ainsi les modèles bidimensionnels ne prennent pas en compte l'évolution des différentes couches d'eau qui se superposent. Pourtant, Le Cann (1982) montre que le réchauffement de la couche de surface, qui débute généralement vers mai-juin, donne naissance au large à une thermocline bien marquée. Dans les zones côtières ce réchauffement estival crée une stratification sans qu'une véritable thermocline se forme en raison du brassage des masses d'eau par les courants de marée. En hiver, une inversion thermique se produit en face de l'estuaire de la Loire, les eaux océaniques, plus chaudes, sont plaquées au fond tandis que les eaux d'origine fluviale, plus froides mais moins denses car moins salées, restent en surface (Le Cann, 1982). Les images satellitaires confirment l'existence de cette bande d'eau froide en surface, en hiver (Jegou & Salomon, 1988). Le modèle général de la baie de Bourgneuf ne tient pas compte de l'influence des vents sur le déplacement des masses d'eau (Lazure, 1992). Or les effets du vent sur les courants instantanés sont particulièrement importants dans les couches de surface (Salomon & Lazure, 1992). D'octobre à février, les vents soufflent d'ENE tandis qu'ils sont à dominante NNO le reste de l'année (Tab. 1).

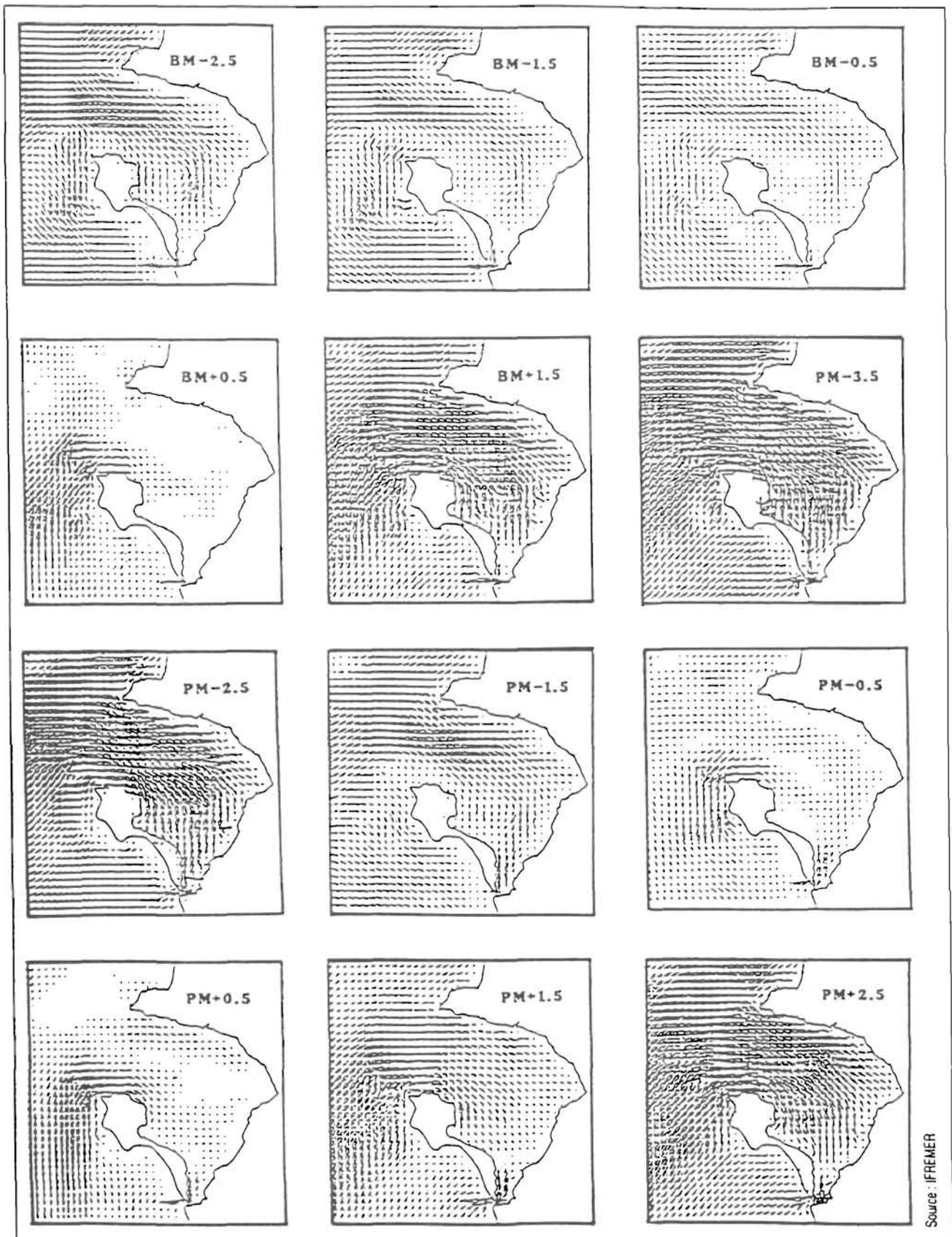


Figure 2: Evolution des champs de courants instantanés, toutes les heures pendant un cycle de marée, en marée moyenne (coefficient de 70) (SMVM, 1994).

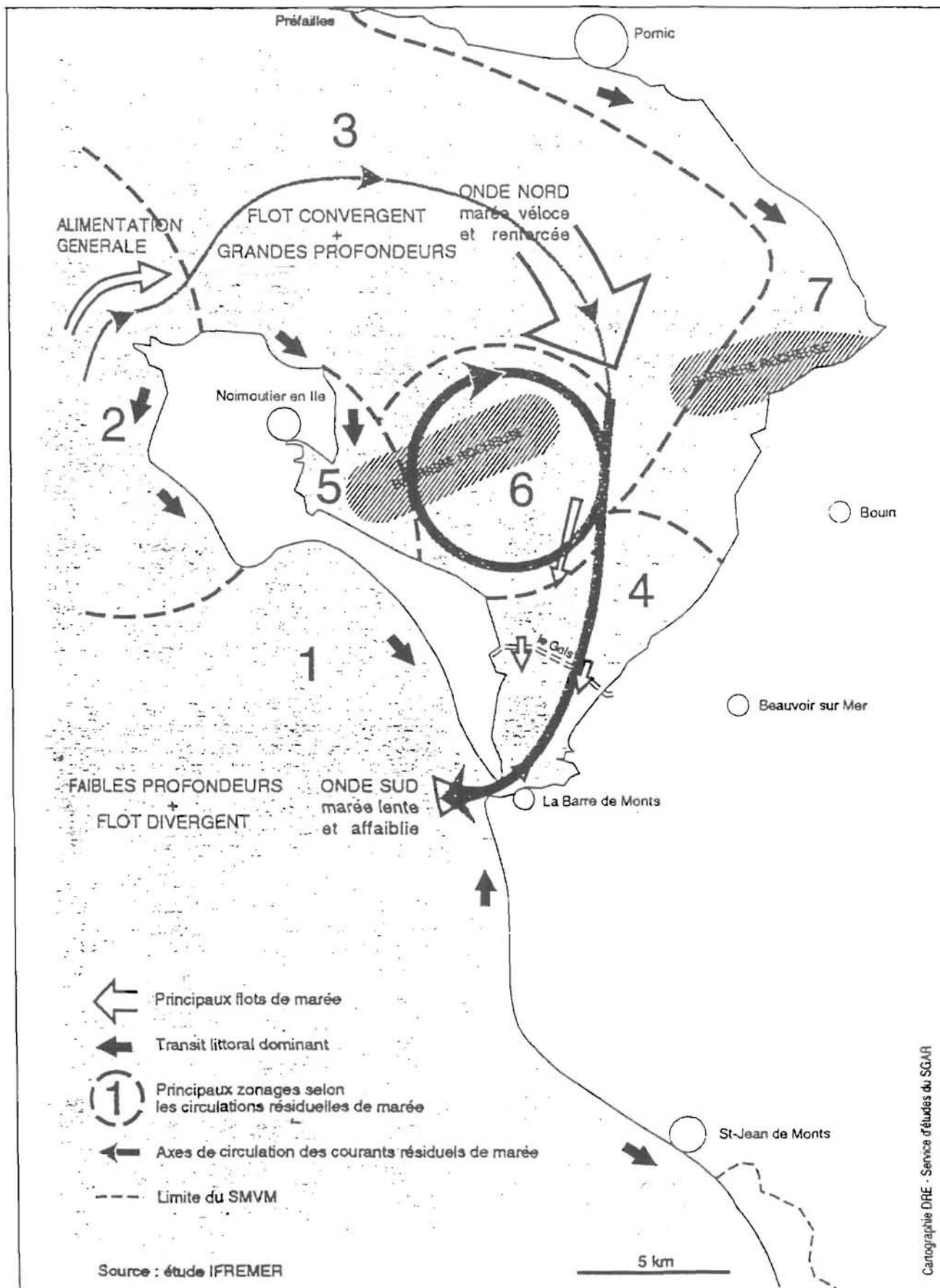


Figure 3: Schéma des principaux traits de la circulation résiduelle de marée et zonage de la baie de Bourgneuf (Lazure, 1992).

Ce processus explique qu'on admette en général qu'en période d'étiage (printemps-été) les eaux de la Loire aient tendance à pénétrer dans la baie de Bourgneuf tandis qu'en hiver, lorsque le débit est assez important pour engendrer un panache, celui-ci se dirige au nord entre les plateaux du Four et l'île du Pilier. Cette interprétation est confirmée par les observations *in situ* faites par Gouleau (1975).

Mois	degré par rapport au nord	direction
janvier	60	ENE
février	80	E
mars	240	OSO
avril	320	NNO
mai	320	NNO
juin	320	NNO
juillet	320	NNO
août	320	NNO
septembre	320	NNO
octobre	60	ENE
novembre	240	OSO
décembre	60	ENE

Tableau 1 : Mode mensuel de la direction des vents les plus forts de 1985 à 1995. Données fournies par la station Météo France de l'île d'Yeu.

Cependant, les déplacements des eaux de la Loire n'ont pas un comportement aussi systématique. L'hydrodynamisme de cette région est très complexe et les facteurs météorologiques océaniques et fluviaux ont des actions parfois concordantes mais souvent antagonistes (Salomon & Lazure, 1988).

II- 3 Influence du bassin versant et de la Loire sur la baie de Bourgneuf.

Le marais Breton est une vaste zone humide de 40 000 ha qui résulte du comblement progressif des golfes de Machecoul et de Challans. Plusieurs petits cours d'eau drainent cette zone et alimentent la baie de Bourgneuf (Fig. 1). Ils sont gérés par des écluses afin de limiter au maximum les inondations hivernales et printanières. En été, les écluses sont fermées de manière à maintenir un minimum d'eau pour l'agriculture. Les cours d'eau qui parcourent l'île de Noirmoutier ont un débit très faible. L'apport en eau douce par l'ensemble de ces cours

d'eau est insuffisant pour avoir une influence réelle sur l'écologie de la baie de Bourgneuf (Tab. 2). En effet, le volume total d'eau de la baie est de 2,5 milliards de m^3 . On peut admettre un volume oscillant de 40 % en Vives eaux (VE) et 15 % en mortes eaux (ME), (Lazure, 1992). Les apports directs en eau douce ne représentent que 0,7 à 1,2 millions de m^3 par jour (Tab. 2) soit 0,0025 % à 0,005 % du volume total. Ces cours d'eau peuvent avoir des effets très localisés notamment à marée basse.

Nom des cours d'eau	Lazure (1992)	S.M.V.M. (1994)
	m^3 par jour	m^3 par jour
Canal de haute Perche	100 000	120 000
Canal du Dain	250 000	48 000
Etier du Falleron	500 000	230 000
Etier de Sallertaine	350 000	262 000
Etiars de Noirmoutier	13 000	14 000

Tableau 2 : Estimation des débits journaliers, moyennés sur l'année des principaux cours d'eau qui alimentent la baie de Bourgneuf.

Il semblerait que la Loire ait une réelle influence sur l'écosystème de la baie de Bourgneuf. Les salinités relevées au niveau des tables ostréicoles des Moutiers, à basse mer plus trois heures (BM +3) tout au long de l'année 1987 (Baud et al., 1990) et de mars 1990 à mars 1991 (Haure & Baud, 1995), sont très fortement corrélées avec les débits de la Loire (Fig. 4). Il est certain que les salinités très élevées, relevées en période estivale sur ce site peu profond, sont dues à l'évaporation de l'eau qui passe sur les vasières surchauffées.

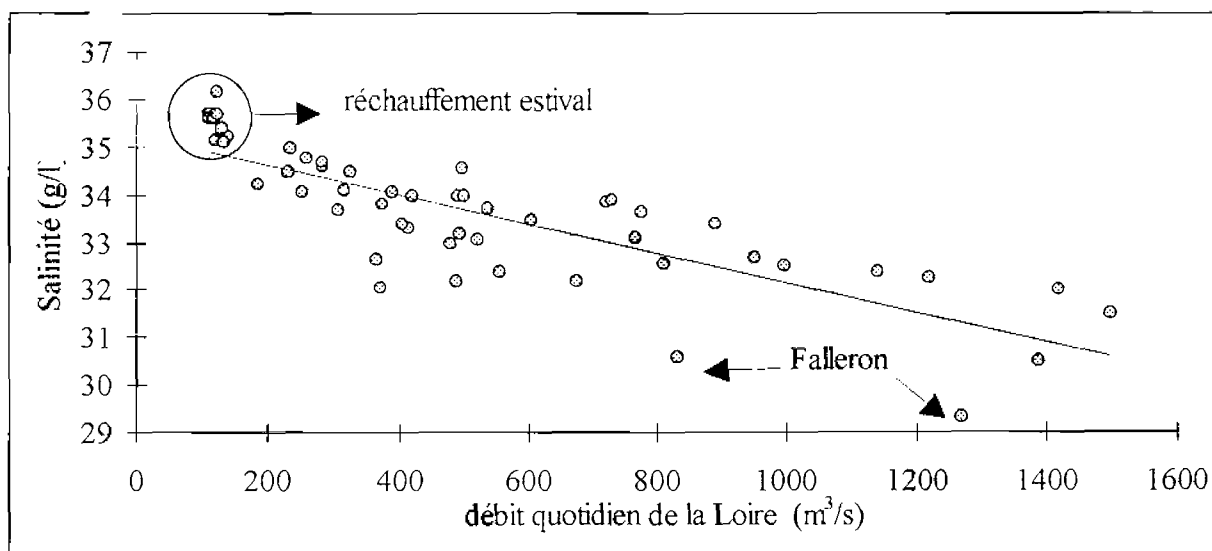


Figure 4: Relation entre le débit de la Loire et la salinité mesurée aux Moutiers (nord baie de Bourgneuf) au cours de l'année 1987 et 1990 ($R^2 = 0,67$, $n = 52$, $P < 0,01$).

Cependant, l'influence de la Loire sur l'écologie de la baie de Bourgneuf reste controversée depuis de nombreuses années, chaque partie essayant de démontrer par des études ponctuelles le bien fondé de sa position.

Ainsi, en mai 1976, alors que le débit est de $1550 \text{ m}^3/\text{s}$, des prélèvements d'eau sont effectués en point fixe dans l'estuaire externe de la Loire, au Grand Charpentier (nord) et à la pointe de St Gildas (sud), toutes les heures sur un cycle complet de marée (coefficient de marée 75 à 86), en surface et au fond (Robert & Amiard, 1993). Ces auteurs notent un enrichissement en nutriments des eaux de fond à la pointe de St Gildas concomitant avec une dessalure au moment de la basse mer. De plus, les concentrations en zinc, cuivre et cadmium dans les particules en suspension de la pointe de St Gildas sont nettement supérieures à celles rencontrées au Grand Charpentier. Cet enrichissement pourrait s'expliquer par une accumulation de sédiments de la Loire, riches en cuivre et en zinc, dans cette zone où les courants sont plus faibles. Ces auteurs en concluent que les eaux de Loire peuvent pénétrer dans la baie de Bourgneuf sous l'influence des vents de nord-ouest.

D'autre part, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne et le Service Maritime de Navigation 44 ont entrepris une étude sur l'incidence des crues de la Loire sur la qualité des eaux littorales de Loire-Atlantique (Anonymes, 1995). Le 27 et 28 février 1995, différents facteurs hydrobiologiques (salinité, température, pH, éléments nutritifs et matière en suspension) sont mesurés le long de trois radiales à la sortie de l'estuaire de la Loire (radiales de la Banche, des Charpentiers et de Noirmoutier) (Fig. 5). Les conditions environnementales sont sensiblement identiques entre le 27 et le 28 février : débit de la Loire $3\,214 \text{ m}^3/\text{s}$ et $3\,487 \text{ m}^3/\text{s}$; coefficient de marée : 76 et 89; vent : 6 m/s de direction 250°N et 7 m/s de direction 260°N . Les mesures effectuées sur la radiale de la Banche sont effectuées le 27 entre PM+4 et BM (pleine mer + 4 heures et basse mer), celle des Charpentiers le 27 entre PM-5 et PM-4, celle de Noirmoutier entre PM+3 et PM+5,5. D'après les résultats obtenus tels que les concentrations en NO_3 (Fig. 6), ces auteurs en concluent que "durant les périodes de crues de la Loire, les apports se dirigent vers le nord mais également vers l'ouest avec un coefficient de dispersion très faible sur 20 km. Vers le sud, l'impact est beaucoup plus faible et une diminution des teneurs par dilution et probablement par diffusion se fait sentir dès l'extrémité de la pointe de St Gildas. De ce fait, les apports dans la baie de Bourgneuf ne semblent pas significatifs." (Anonymes, 1995). Cependant, les paramètres hydrobiologiques ont une grande variabilité sur un cycle de marée (Robert & Amiard, 1993), il est donc difficile de comparer des mesures qui sont faites à différentes périodes de la marée.

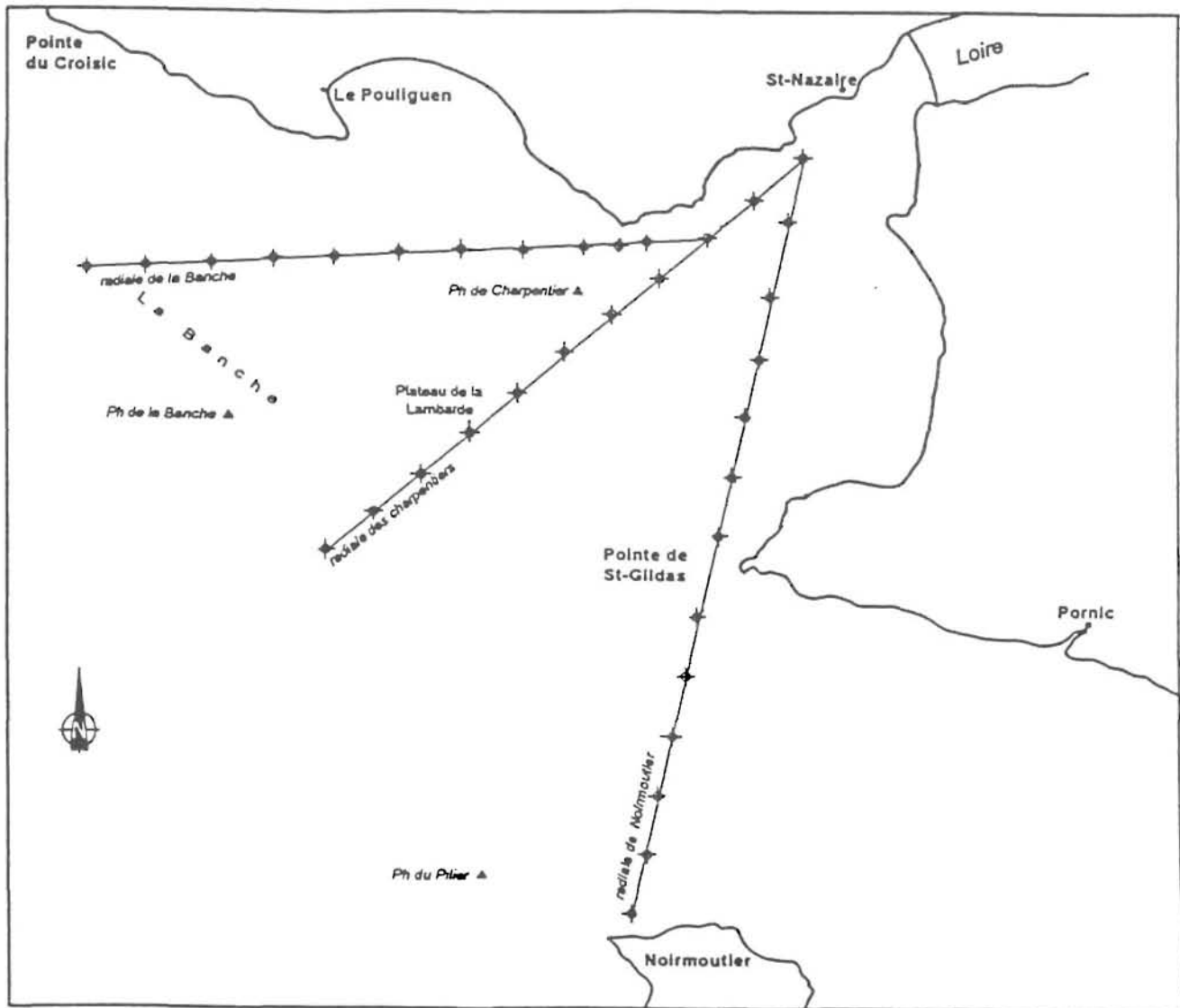


Figure 5: Localisation des points de prélèvements le long des trois radiales effectuées par l'Agence de l'eau et SMN44.

Le protocole employé dans cette étude permet de suivre la même masse d'eau dans le secteur nord. En effet, la radiale de la Banche est effectuée de la Loire vers le large au fur et à mesure que la marée descend, tandis que celle des Charpentiers est effectuée du large vers l'estuaire de la Loire pendant que la marée remonte. Cela explique pourquoi la dispersion est si faible. La radiale de Noirmoutier, mesure bien une descente des masses d'eau de la Loire vers la pointe de St Gildas mais plus au sud il pourrait s'agir des eaux de la baie de Bourgneuf qui sortent à marée basse à raison de 1 milliard de m³ pour un coefficient de 86 en vives eaux. Enfin un vent de OSO ne favorise pas particulièrement l'entrée des eaux de Loire dans la baie de Bourgneuf. Ces remarques soulignent la grande difficulté à estimer le mouvement des masses d'eau par des mesures ponctuelles. C'est pourquoi dans la suite de ce travail nous n'étudierons l'influence de la Loire sur la Baie de Bourgneuf qu'à l'échelle saisonnière et pluriannuelle.

II-4 Turbidité et sédimentation

La turbidité (concentration en matière en suspension dans la colonne d'eau) est engendrée d'une part, par la remise en suspension du sédiment des vasières et d'autre part par des apports sédimentaires externes. Ces apports externes proviennent essentiellement de la pénétration du bouchon vaseux de la Loire dans la baie de Bourgneuf sous certaines conditions météorologiques. Ce phénomène est déjà observé par Gouleau (1975) lorsque les crues coïncident avec de faibles coefficients de marée.

La remise en suspension des sédiments des estrans est engendrée essentiellement par l'action des vagues tandis que les courants de marée servent au transport des particules. Les houles les plus fréquentes sont de secteur NO, ce qui occasionne une dérive littorale vers l'est provoquant l'envasement du port de Pornic et l'engraissement des estrans de la Bernerie. Dans la partie centrale, la houle s'amortit sur les roches de Bouin qui constituent un excellent dispositif de défense contre l'érosion. Dans la partie sud, la houle est freinée par les roches de la Vendette sur lesquelles elle se diffracte avant de pénétrer par le Fain dans cette zone peu profonde où les particules peuvent sédimenter.

Le flot dure en moyenne 5 heures tandis que le jusant nécessite 7 heures pour déplacer les mêmes quantités d'eau en sens inverse (Gouleau, 1975). Les courants de flot sont donc plus rapides. Ils arrivent sur l'estran avec une vitesse maximale qui est maintenue longtemps sous l'influence de la poussée des eaux océaniques. Ce flot atteint alors une puissance maximale qui lui permet d'éroder les slikkes, de remettre en suspension une grande partie du sédiment et de pousser les eaux chargées vers la côte.

La lente progression du jusant permettra aux eaux turbides de se décanter sur les hautes slikkes. L'émergence aura tendance à fixer ce dépôt de sédiment (Gouleau, 1975). La nappe turbide ne sortant pas de la baie, il n'y aura pas démaigrissement des vasières.

Il existe une sédimentation importante sur la majeure partie de l'estran, de l'ordre de 0,3 à 0,5 m/an (moyenne de 1893 à 1991, fournie par le S.M.V.M., 1994), avec des maxima de 1 m/an atteint au fond de la baie du Collet et devant le port des Brochets (S.M.V.M., 1994). Cependant les études de Gouleau (1975) ne font état d'un engraissement que de 1 cm/an des vasières du nord de la baie. Ce chiffre semble confirmé par les variations de cote (de 1 m à 2,80 m, en 150 ans) de la slikke située à la balise de Mouilleped (Mounes, 1974). Si l'on admet que l'apport de sédiment dans la baie de Bourgneuf provient essentiellement de la Loire, prendre une sédimentation calculée pendant les années de sécheresse (1971 à 1975) où le débit de la Loire est de 250 millions de m³/s, doit minimiser l'impact de cet apport. D'un autre côté, estimer une valeur moyenne de 1893 à 1991 ne permet pas de prendre en compte les importants travaux d'aménagement qui ont été entrepris sur la Loire afin de diminuer l'impact des crues et risque d'entraîner une surestimation importante de la sédimentation actuelle.

Les mollusques cultivés dans la baie sont souvent incriminés dans "l'augmentation" de la sédimentation. Le sédiment apporté dans la baie ou remis en suspension ne sort pas de la baie. Les structures conchyliques ne font que la concentrer à certains endroits. Les tables ostréicoles freinent le courant favorisant ainsi la sédimentation des particules localement. Les bivalves ne produisent pas de sédiments: ils retiennent une fraction des particules qui se trouvent dans la colonne d'eau et la rejettent au pied des tables sous forme de biodépôts. Ainsi les 7 000 000 t/an (S.M.V.M., 1994) de biodépôts produits par les mollusques en élevage dans la baie ne sont pas à cumuler avec la sédimentation naturelle estimée par le S.M.V.M. (1994).

La nature des matières en suspension (MES) dans la baie nous renseigne sur l'origine de ces apports sans cesse renouvelés. La fraction fine de ces MES est formée d'argiles (illite, kaolinite et complexe illite-montmorillonite avec peu ou pas de chlorite) (Gouleau, 1975). Cette constitution est très voisine de celle des sédiments fins de la Loire. Or, seuls ces argiles sont suffisamment légères pour pouvoir être transportées sur de longues distances par les courants. D'autre part, le comblement du Golfe de Challans par les sédiments apportés par la Loire est constitué des mêmes argiles (Gruet *et al.*, 1972). Il semble donc que le processus de comblement de la baie se poursuive jusqu'à nos jours mais avec un rythme plus lent. La fraction plus grossière des MES de la baie est d'origine autochtone et provient de l'érosion des côtes

rocheuses du nord de la baie et de la remise en suspension des plages de sable. Le poids plus important de cette fraction va entraîner une rapide sédimentation de ces constituants au centre de la baie, tandis que les particules plus légères auront tendance à s'accumuler sur les estrans (Gouleau, 1975). La carte sédimentologique établie par Gouleau (1975) (Fig. 7) montre une couverture presque exclusivement sableuse dans les parties les plus profondes avec un gradient de décantation qui suit les courants de marée : des graviers et des sables grossiers au nord vers des sables fins au sud où la turbulence est moindre. Les estrans du nord, constitués essentiellement d'argiles facilement remises en suspension (50 % de la fraction du sédiment < 44 μm), engendrent une très forte turbidité (154 mg/l en moyenne autour des tables ostréicoles; Haure & Baud, 1995). Au sud, la remise en suspension des estrans de sables fins où la fraction du sédiment < 44 μm n'excède pas 10 %, entraîne une faible turbidité (34 mg/l en moyenne autour des tables ostréicoles; Haure & Baud, 1995).

Ces particularités physiques d'hydrodynamisme et de turbidité, inhérentes à la topographie de la baie, scindent cette dernière en deux biotopes (nord et sud) qui peuvent entraîner des différences de croissance entre les huîtres qui sont cultivées dans ces deux parties (Haure & Baud, 1995).

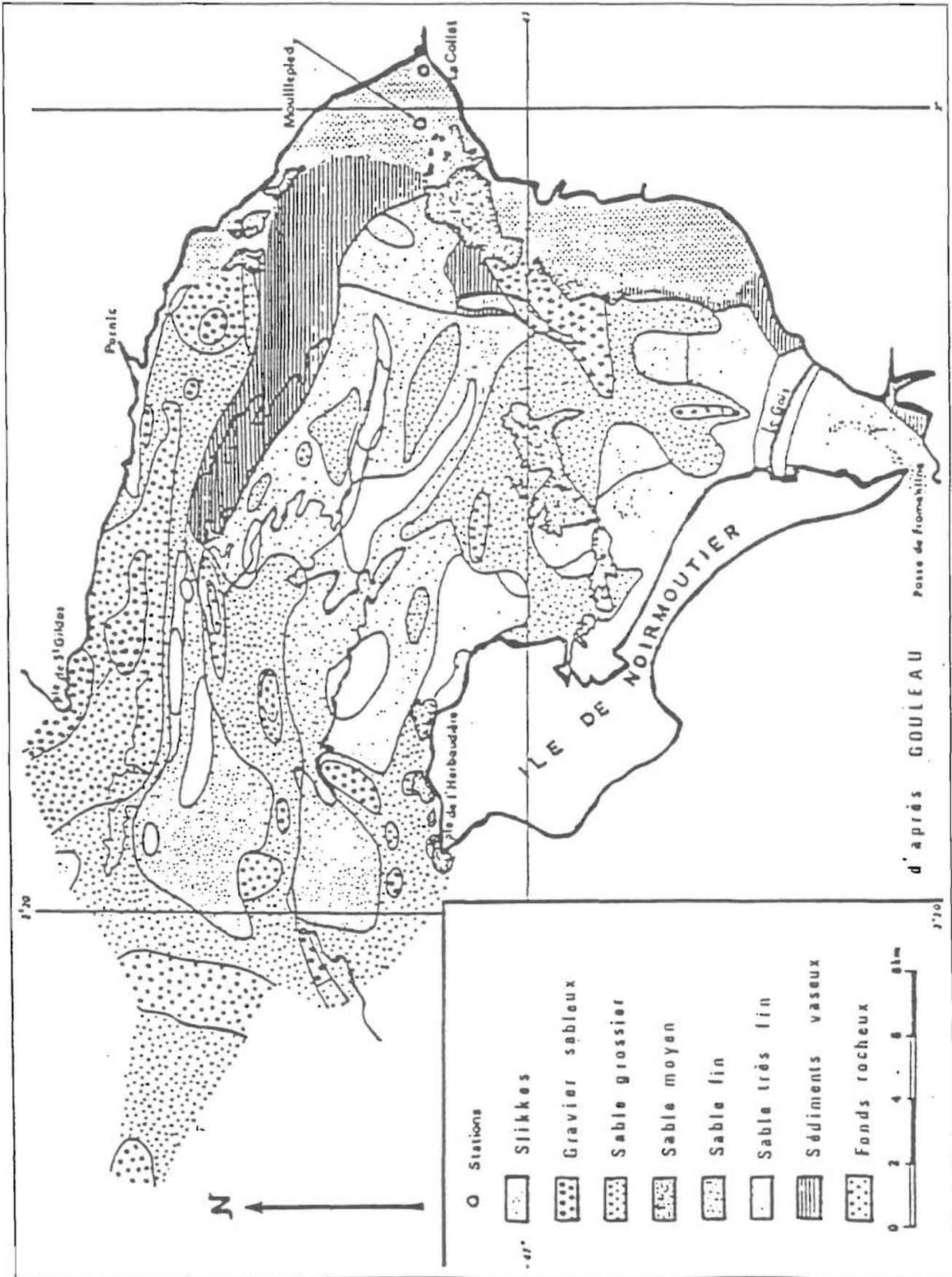


Figure 7: Carte sédimentologique de la baie de Bourgneuf d'après Gouleau, 1975.

Caractéristiques physiques de la baie de Bourgneuf

A retenir

La baie de Bourgneuf, d'une superficie de 340 km² est séparée en deux parties par une barrière rocheuse orientée NE-SO. La partie nord est caractérisée par un hydrodynamisme important lié à la marée qui remet en suspension les estrans vaseux entraînant une forte turbidité (150 mg/l en moyenne près des tables ostréicoles; Haure & Baud, 1995). La partie sud, plus abritée et peu profonde, connaît une turbidité plus faible (30 mg/l en moyenne près des tables ostréicoles; Haure & Baud, 1995) et ses estrans sont de nature sablo-vaseuse.

Lors d'un cycle tidal, l'océan pénètre dans la baie par une large ouverture située au nord, poussant les eaux de la baie vers les vasières de l'est puis vers le sud. Au jusant, la quasi-totalité de l'eau repart en sens inverse. Seule une infime partie de cette masse d'eau se retire par le goulet de Fromentine situé au sud. Le temps de résidence des masses d'eau dans la baie est approximativement de 2 mois.

Les cours d'eau qui alimentent la baie ont un apport direct très faible (< 0,005 % du volume total de la baie). Les modèles courantologiques bidimensionnels indiquent que la Loire se dirige généralement vers les côtes nord. Mais ces modèles ne prennent en compte ni la stratification importante des masses d'eau, ni l'impact des vents sur le déplacement de ces masses d'eau. De nombreux auteurs ont observé une pénétration des eaux de Loire dans la baie de Bourgneuf par de petits coefficients de marée et les variations de salinité mesurées dans la baie correspondent aux variations de débit de la Loire. Enfin, le processus de comblement de la baie par les sédiments fins de la Loire semble se poursuivre de nos jours avec un rythme plus lent grâce aux travaux d'aménagement de la Loire entrepris depuis 1950.

III Stock des mollusques de la baie de Bourgneuf

Le développement de l'aquaculture dans le monde et en particulier sur les côtes françaises, ne cesse de s'accroître. La plupart des sites favorables à la conchyliculture étant déjà exploités, cet accroissement implique une augmentation importante des stocks en élevage (Grant *et al.*, 1993). Lorsqu'ils sont cultivés à de fortes densités, la croissance des mollusques est rapidement limitée par l'insuffisance de nourriture (Navarro *et al.*, 1991), l'écosystème arrive à saturation. Les fortes densités et l'état de stress physiologique des animaux sous-alimentés peuvent conduire à des mortalités catastrophiques lorsqu'un agent pathogène apparaît. Ce scénario s'est reproduit pour deux espèces d'huîtres (*Ostrea edulis* et *Crassostrea angulata*) cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron (Héral *et al.*, 1986). Ce processus se produit également pour des populations naturelles de bivalves (Smaal & Scholten, 1989; Bayne & Hawkins, 1992).

En baie de Bourgneuf, la diminution des performances de croissance des huîtres, observée depuis le début des années 80, conduit à poser le problème de la capacité de production de cette baie. Il est donc nécessaire d'estimer les stocks d'huîtres cultivées et les stocks de compétiteurs trophiques que représentent les moules afin de comparer leurs besoins nutritifs avec la quantité de nourriture que peut fournir la baie.

III-1 Etude des stocks de mollusques dans la baie de Bourgneuf

Les parcs à plat représentant moins de 1 % de la surface concédée, seules les huîtres cultivées sur tables sont prises en compte. Les concessions ostréicoles sont regroupées en quatre grands sites (Fig. 8) afin de respecter l'homogénéité géographique des secteurs de productions. Chaque site regroupe plusieurs bancs ostréicoles et est identifié sous l'appellation du banc le plus important:

les Moutiers: les Moutiers, la Northe et la Bernerie.

la Coupelasse: la Coupelasse, Ringeau et l'île Bergère.

le Gril: Le Gril, la Banche, la Douce et les Charasses.

Graisselous: Graisselous et le nord-est de l'île de Noirmoutier.

Les gisements naturels de moules occupent la partie centrale du bassin et se répartissent sur les roches de la Vendette (gisement exondé à marée basse) et dans le chenal du Fain (gisement subtidal) (Fig. 8). Les cultures de moules sur bouchot sont localisées dans trois lotissements situés à l'intérieur de la baie: Maison Blanche, le Fiol et Northe (Fig. 8), soit près de 35 km de bouchots.

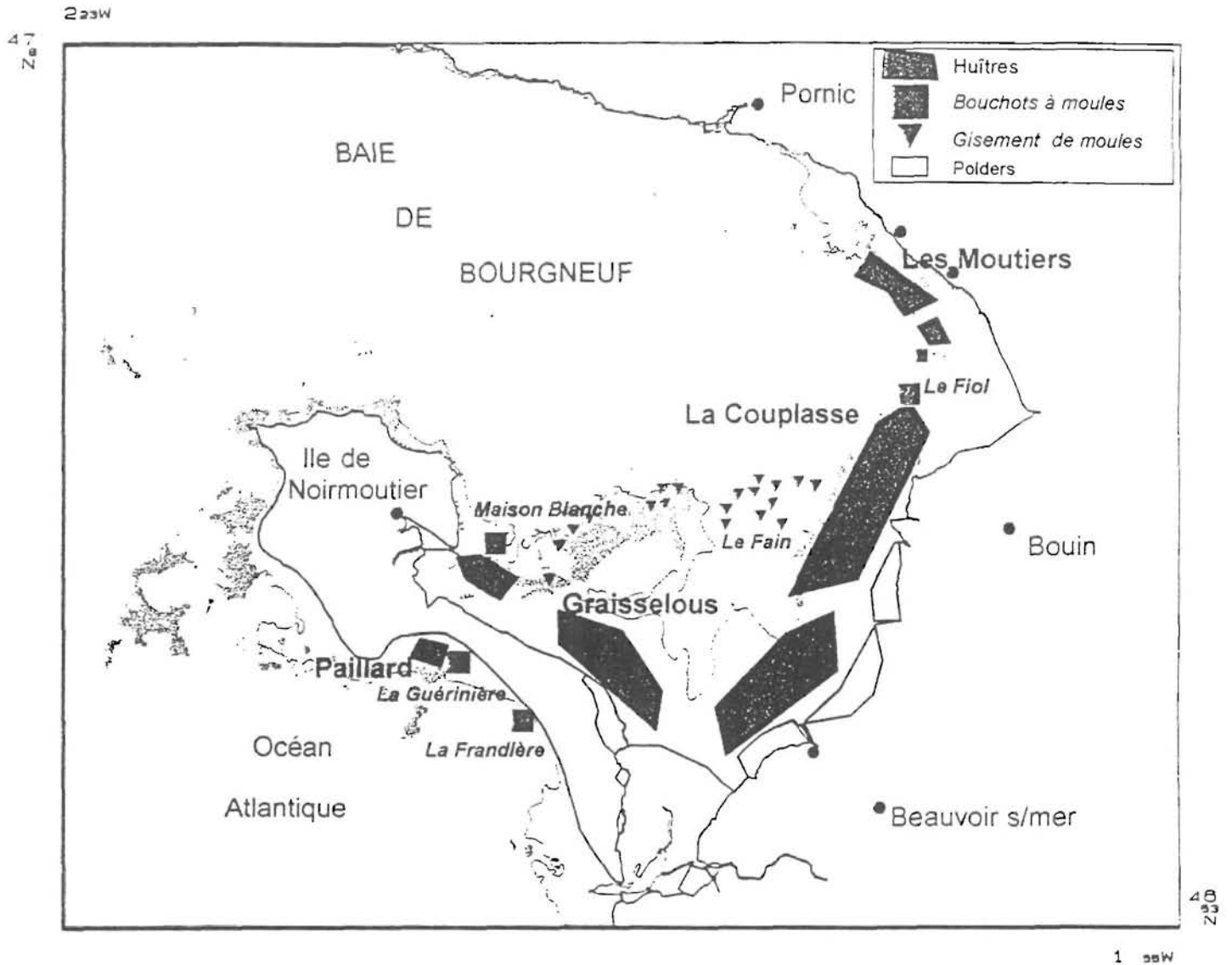


Figure 8: Situation géographique des quatre sites ostréicoles (■), des gisements naturels de moules (▼) et des cultures de moules sur bouchot (■) de la baie de Bourgneuf.

III-1-1 Données de production annuelle

La seule série chronologique existante depuis les débuts de l'ostréiculture en baie de Bourgneuf (1947), concerne les surfaces concédées aux ostréiculteurs et la production d'huîtres vendues annuellement. Ces données ont été enregistrées par les Statistiques des Pêches de 1947 à 1981 puis par les Affaires Maritimes du quartier de Noirmoutier de 1976 à nos jours. Pendant la période de transition, bien que leurs méthodes de calcul diffèrent quelque peu, les estimations de production annuelle d'huîtres creuses sont sensiblement les mêmes (Fig. 9) notamment de 1978 à 1981. Dans ces conditions les deux séries chronologiques peuvent être réunies (Fig. 10).

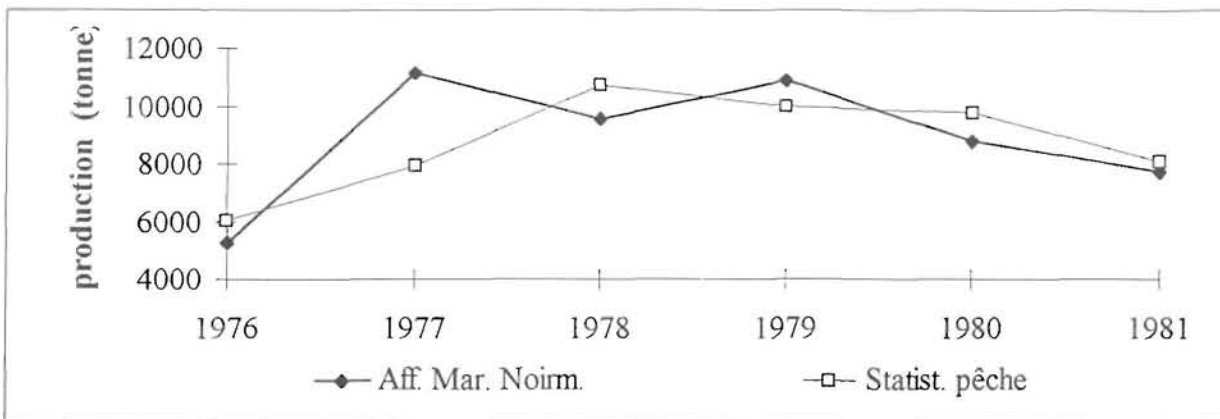


Figure 9: Estimation de la production d'huîtres creuses par les Affaires Maritimes de Noirmoutier et par les Statistiques des Pêches de 1976 à 1981.

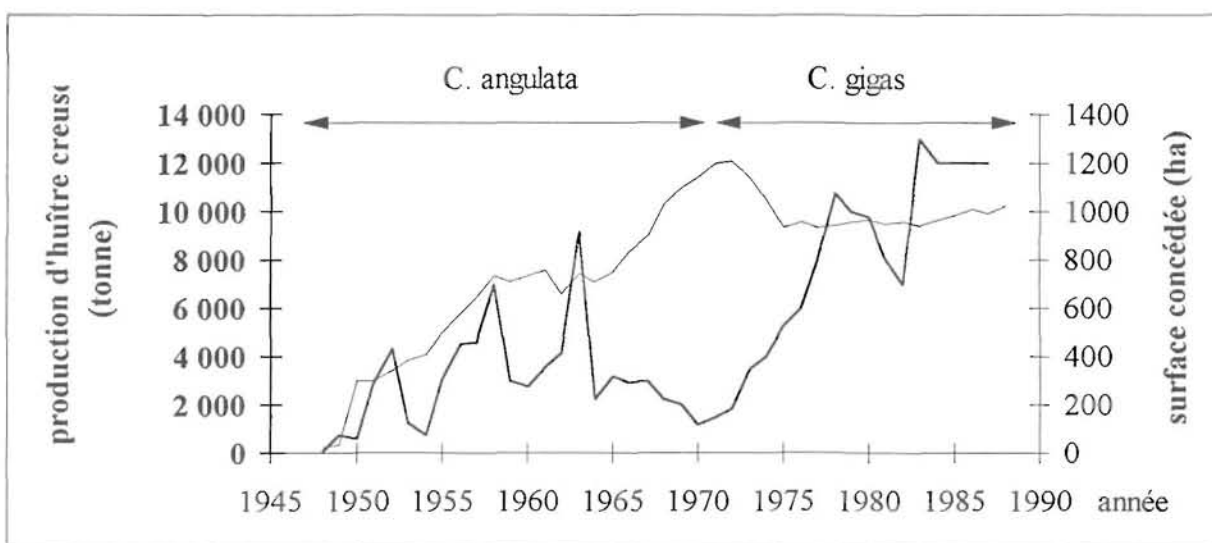


Figure 10: Evolution, de 1947 à 1990, des productions d'huîtres creuses (en gras) et des surfaces concédées (en fin) aux ostréiculteurs de la baie de Bourgneuf.

Les productions d'huîtres plates (*Ostrea edulis*) ne sont pas représentées sur ce graphe car elles sont très faibles comparativement à celles des huîtres creuses. Les 120 concessions allouées pour la culture de l'huître plate en 1950 diminuent régulièrement pour n'être plus que 2 ou 3 actuellement. En effet, ces huîtres sensibles aux parasites *Bonamia* et *Martellia*, disparaissent de la plupart des bassins conchylicoles français. A l'opposé, le nombre de concessions allouées pour la culture de l'huître creuse portugaise (*Crassostrea angulata*) augmentent régulièrement pour atteindre 700 ha en 1960 (Fig. 10). Bien que les productions maximales évoluent avec la surface allouée, la production annuelle n'est pas en relation directe avec ces surfaces. A partir de 1964, les productions s'écroulent malgré le nombre croissant de concessions concédées pour enrayer le phénomène (Fig. 10): l'huître *Crassostrea angulata* est à son tour victime d'un irridovirus qui déforme les branchies et fini par entraîner la mort de l'animal. Le cheptel, décimé en 1970, est alors remplacé par l'huître japonaise (*Crassostrea gigas*). Tandis que la surface concédée est ramenée à 1 000 ha afin de ne pas surcharger le bassin, la production de *C. gigas* ne cesse d'augmenter jusqu'en 1978 où elle atteint 11 000 t/an. Après quatre années la production chute jusqu'à 7 000 t/an puis semble se stabiliser entre 12 et 13 000 t/an depuis 1982.

La production d'huîtres creuses représente la production la plus importante de la Baie (Fig. 11 a). La production de moules de bouchot augmente régulièrement mais faiblement tandis que celle des moules de gisement est erratique (Fig. 11 a). Le ramassage des moules naturelles reste une activité d'appoint pour les pêcheurs ou les ostréiculteurs de la baie qui y consacrent plus ou moins de temps en fonction de la richesse du gisement. Le ramassage sur les zones rocheuses se pratique à pied à marée basse: les pêcheurs remplissent, à l'aide de fourches, des mannes qui sont ensuite empilées sur des embarcations à fond plat. Dans les zones immergées, les moules sont récoltées à l'aide d'une drague (ouverture maximale de 80 cm, profondeur de 60 cm et maillage de 40 mm) tractée par un bateau. Bien que les tonnages puissent être importants, entre 3 000 et 4 000 t/an (Fig. 11 a), cette activité rapporte peu d'argent (Fig. 11 b). En effet, l'essentiel de cette pêche est vendu en vrac sans être trié pour être reparqué en Bretagne. Le prix du naissain est d'environ 0,5 FF/kg et celui de la moule proche de la taille marchande 1 à 2 FF/kg. Les moules de bouchot, vendues à taille commercialisable (> 40 mm), lavées et conditionnées, ont vu leur prix augmenter régulièrement de 1 FF/kg en 1976 à 6 FF/kg en 1986. Le prix des huîtres oscille entre 4 et 6 FF/kg jusqu'en 1981 puis se stabilise autour de 9 FF/kg jusqu'en 1988, expliquant ainsi l'importance économique de cette activité dans la baie de Bourgneuf (Fig. 11 b).

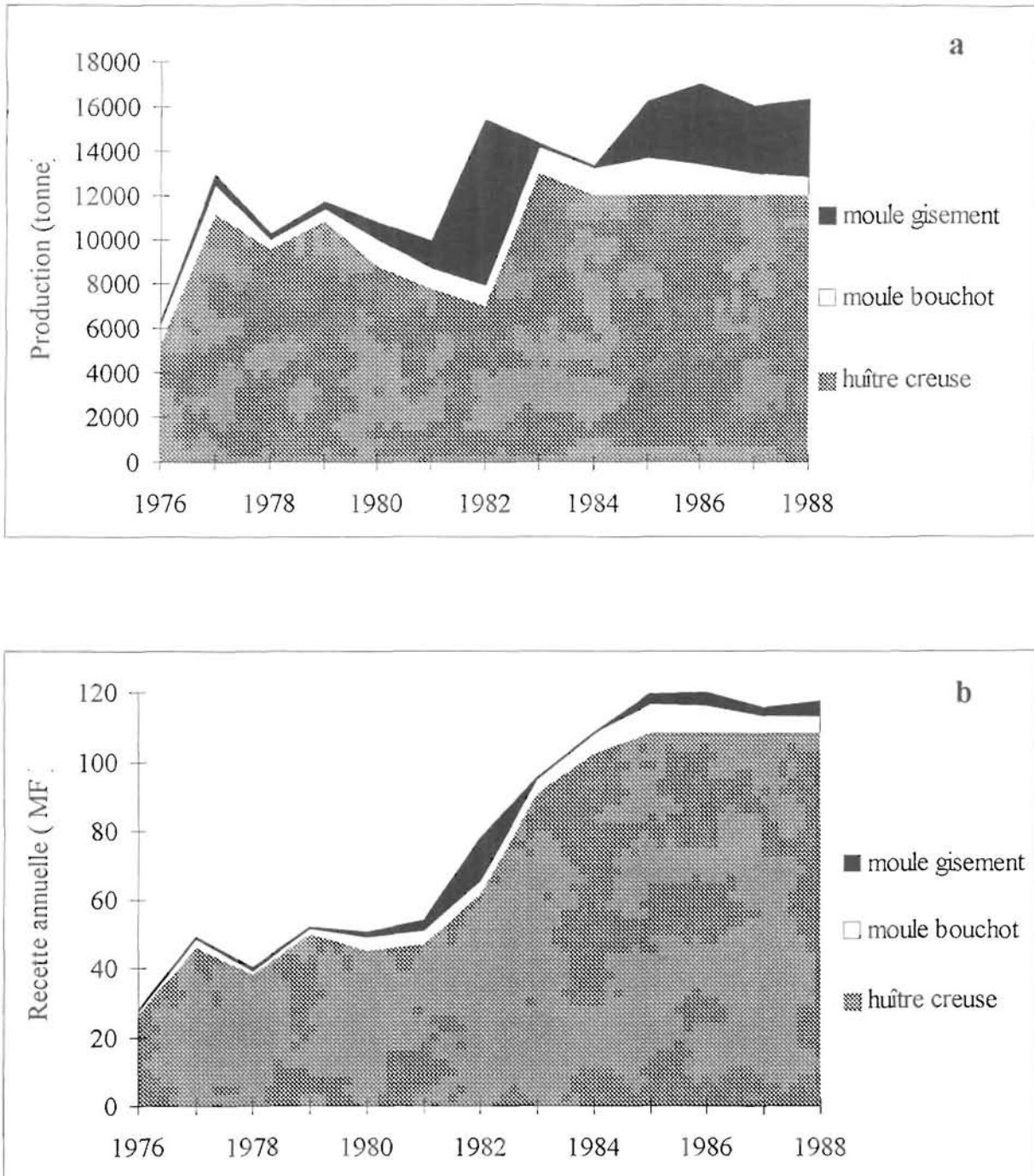


Figure 11: a) Production annuelle des différents types de mollusques commercialisés dans la baie de Bourgneuf; b) Recette annuelle de la vente de ces productions.

Actuellement la situation reste inchangée : les tonnages produits en huîtres et en moules sont sensiblement les mêmes qu'en 1988 et les prix n'ont guère évolué; approximativement 10 FF/kg pour les huîtres, 8 FF/kg pour les moules de bouchot et 1 FF/kg pour les moules de gisement. Ces chiffres fournis par les Affaires Maritimes du quartier de Noirmoutier reflètent une moyenne des prix observés sur le marché. Actuellement la vente des huîtres de la baie de Bourgneuf représente une recette annuelle d'environ 130 millions de francs.

III-1-2 Estimations des stocks d'huîtres creuses *Crassostrea gigas*.

La production annuelle n'est pas représentative du stock d'huîtres en culture dans le bassin. En effet, ces huîtres nécessitent 3 à 4 ans d'élevage avant de devenir un produit de taille marchande. Seule la partie commercialisable du stock peut prétendre à être vendue. Or, c'est le stock entier qu'il faut connaître afin de savoir si la productivité de la baie de Bourgneuf suffit à assumer ses besoins trophiques.

Les études de stock sur les huîtres cultivées n'ont pu être entreprises que sur quatre années consécutives, de 1985 à 1988 (Baud & Hommebon, 1987; Baud & Haure, 1987, 1989, Baud *et al.*, 1990), en raison de l'effort important que cela demande en temps et en personnes (la seule partie de l'échantillonnage sur le terrain nécessite 10 personnes pendant 10 jours). L'estimation de la biomasse ostréicole effectuée en 1982 (St Félix *et al.*, 1983) n'est pas prise en compte ici par manque d'homogénéité avec les protocoles d'échantillonnage utilisés ultérieurement.

L'ostréiculture s'est implantée dans la baie de Bourgneuf en 1946. Après des hésitations et de nombreuses pertes de cheptel dues à la pratique culturale à plat, la totalité du cheptel disparaît en 1970 à cause de l'épizootie sur l'huître portugaise *Crassostrea angulata*. A partir de cette date l'élevage en surélevé de l'huître japonaise *Crassostrea gigas* est pratiqué sur l'ensemble de la baie. Du fait de l'irrégularité ou de l'absence de captage dans la baie de Bourgneuf (Corbeil, 1968), les ostréiculteurs vendéens sont pour la plupart, détenteurs de parcs de captage dans le bassin de Marennes-Oléron et plus particulièrement à Fouras (Haure & Baud, 1995). Ces concessions sont garnies de différents types de collecteurs en période estivale (Berthomé *et al.*, 1981). Les collecteurs, une fois couverts de naissains d'huîtres creuses, sont alors ramenés en baie de Bourgneuf à la fin de l'hiver ou au début du printemps. Les huîtres sont détachées de leur support au bout de huit mois pour poursuivre leur

croissance en poche ou, selon les secteurs, restent sur les collecteurs jusqu'à la taille marchande qu'elles atteignent à l'âge de 3 ou 4 ans en moyenne (Haure & Baud, 1995).

III-1-2-1 Protocole

Après une phase de mise au point du protocole et d'adaptations aux contraintes régionales de la baie de Bourgneuf (Baud & Hommebon, 1987), la méthode est utilisée en routine de 1986 à 1988. Le principe repose sur l'estimation de deux paramètres :

- La surface exploitée: elle est obtenue par l'analyse de photographies aériennes couvrant l'ensemble des surfaces d'estran exploitées par l'ostréiculture. Elle est exprimée en longueur de tables ostréicoles garnies en huîtres. Trois comptages successifs à l'aide d'une grille de 3m * 3m, positionnée selon trois angles différents, permettent d'estimer la précision de la valeur obtenue.

- La densité des élevages: elle représente la biomasse d'huîtres vivantes par mètre de table.

Le stock total est estimé par le produit des densités des élevages et de la longueur des tables exploitées.

Le plan d'échantillonnage comprend une stratification géographique des zones ostréicoles en quatre grands secteurs d'élevage: les Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous (Fig. 8). Un tirage aléatoire des unités primaires qui seront échantillonnées est effectué dans chaque secteur. Chaque unité primaire, ainsi définie, est étudiée :

- mesure de la longueur de tables occupées par les poches, les collecteurs de 1 an et les collecteurs de 2 ans et plus.

- pesée de 1 à 3 poches d'huîtres vivantes, ainsi que 4 collecteurs de 1 an et 4 collecteurs de 2 ans et plus, pris au hasard. Le nombre de collecteurs par mètre de table ainsi que la nature du support sont notés.

Chaque équipe, composée de deux personnes, échantillonne en moyenne 4 unités primaires par marée. Ce travail ne peut s'effectuer que pendant les marées basses de VE et lorsque le stock est stable. Les différentes modalités apportées au protocole pour le calcul de la surface exploitée durant les quatre années d'études figurent dans le tableau 3. La précision des chiffres fournis correspond à $(2 * \text{écart-type} / \text{moyenne}) * 100$ pour une probabilité d'erreur de 5 %. Le taux d'exploitation représente le pourcentage des surfaces exploitées par rapport aux surfaces concédées. Les photographies aériennes réalisées par le Service Technique de l'Urbanisme,

n'ont pu être prises en 1988 en raison des mauvaises conditions atmosphériques pour les dates programmées qui doivent être les plus proches possibles de la date à laquelle s'effectuent les missions de terrains.

<i>Année</i>	<i>surface concedée (ha)</i>	<i>échelle de la photo</i>	<i>surface exploitée (ha)</i>	<i>précision</i>	<i>taux d'exploitation</i>	<i>longueur de tables (m)</i>
1985	1 053,34	1/10 000	662,13	2,78 %	68,86 %	1 448 400
1986	1 061,56	1/ 5 000	621,96	0,62 %	58,59 %	1 415 980
1987	1 108,42	1/10 000	659,12	0,85 %	59,46 %	1 450 430
1988				9,00 %		1 545 773 *

Tableau 3 : Différentes modalités du protocole d'estimation de la surface exploitée pour la culture d'huîtres en surélevé dans la baie de Bourgneuf de 1985 à 1988. (* estimation de terrain à cause du manque de photos aériennes)

Les nouvelles acquisitions de surface sont faites principalement dans le secteur de la Coupelasse, réputé favorable à la croissance (Baud & Haure, 1989). Bien que seulement 60 % des surfaces concédées soient exploitées, les concessions ne cessent d'augmenter, de l'ordre de 1 à 2 % par an jusqu'à nos jours. Les parcs non exploités ne sont pas entretenus régulièrement et peuvent servir à l'occasion de dépôt de tables non utilisées qui favorisent l'envasement et la fixation d'huîtres sauvages non commercialisables (Photo 1).

Ces huîtres de parcs abandonnés peuvent représenter une biomasse importante et nuire fortement à la croissance des huîtres cultivées en prélevant une large part de la nourriture disponible. Ainsi à Marennes-Oléron, une étude effectuée en 1993, estime à 17 000 t les huîtres de parcs abandonnés. Ces huîtres sont les compétiteurs trophiques majeurs de ce bassin puisque les individus cultivés représentent 95 000 t et les sauvages 3 000 t (Prou *et al.*, 1994). Le nettoyage des parcs abandonnés a été entrepris afin de diminuer la charge biologique du bassin pour essayer de rétablir un taux de productivité compatible avec le marché ostréicole. Une étude similaire serait nécessaire sur la baie de Bourgneuf.

Les différentes modalités apportées au protocole pour l'estimation des densités d'huîtres cultivées en surélevé durant les quatre années d'études figurent dans le tableau 4.

Malgré l'intensification de l'effort d'échantillonnage (de 83 à 209 unités primaires), la précision sur les densités n'a pas été améliorée en raison de la forte variabilité de certains

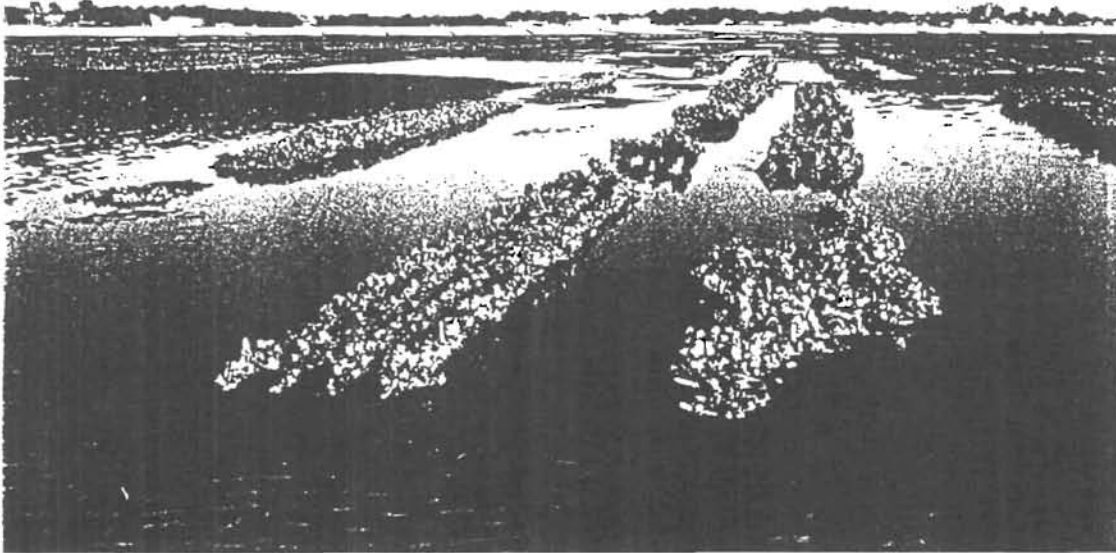


Photo 1 : Tables ostréicoles abandonnées et colonisées par les huîtres sauvages. Les Moutiers, novembre 1996.

Année	date	unité primaire U.P.	nombre U.P. échantillonnées	densité totale kg/m de table	précision sur la densité
1985	30 sept-2 oct. 14 oct.-18 oct	1 hectare	83	26.80	7 %
1986	16-22 sept. 2-8 oct	1 parc	197	26.71	5 %
1987	22-26 sept 5-10 oct	1 parc	207	33.32	7 %
1988	26-30 sept. 10-14 oct.	1 parc	209	30.98	7 %

Tableau 4: Différentes modalités du protocole d'estimation de la densité en huîtres creuses cultivées en surélevé dans la baie de Bourgneuf.

III-1-2-2 Résultats selon les secteurs et les types de culture

Répartition des stocks d'huîtres selon la pratique culturale

Près de 99 % du naissain d'huître provient du captage de Fouras dans le bassin de Marennes-Oléron. Le dénombrement des larves d'huîtres présentes à Fouras entre la mi-juin et la mi-septembre montre de très grandes variations annuelles (Fig. 12) qui ne peuvent pas être mises en relation avec la température ou la salinité ambiante. Bien que ce dénombrement ne représente pas la fixation effective des larves sur les collecteurs, il existe pourtant une forte incidence du nombre de larves présentes à Fouras sur les stocks d'huîtres fixées sur les collecteurs de 1 an en baie de Bourgneuf l'année suivante (Fig. 13).

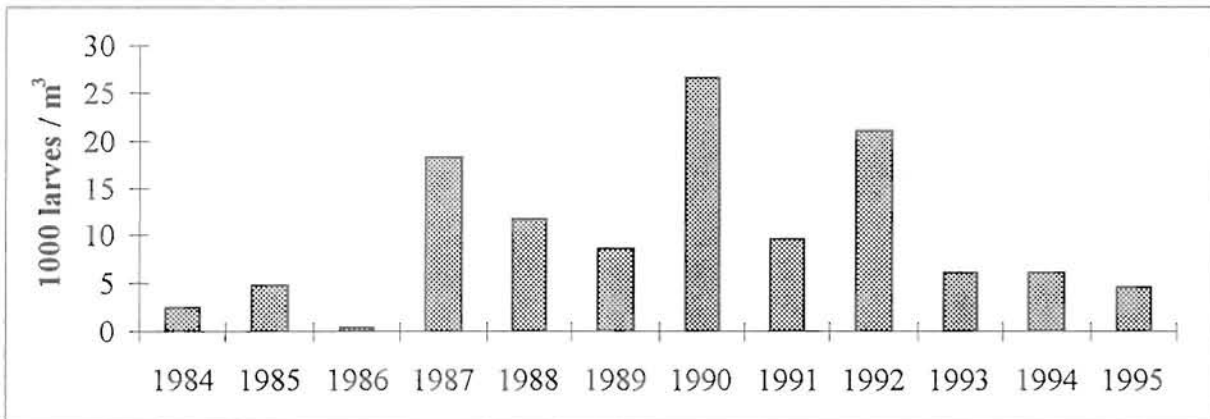


Figure 12: Dénombrement des larves d'huîtres à Fouras de la mi-juin à la mi-septembre.

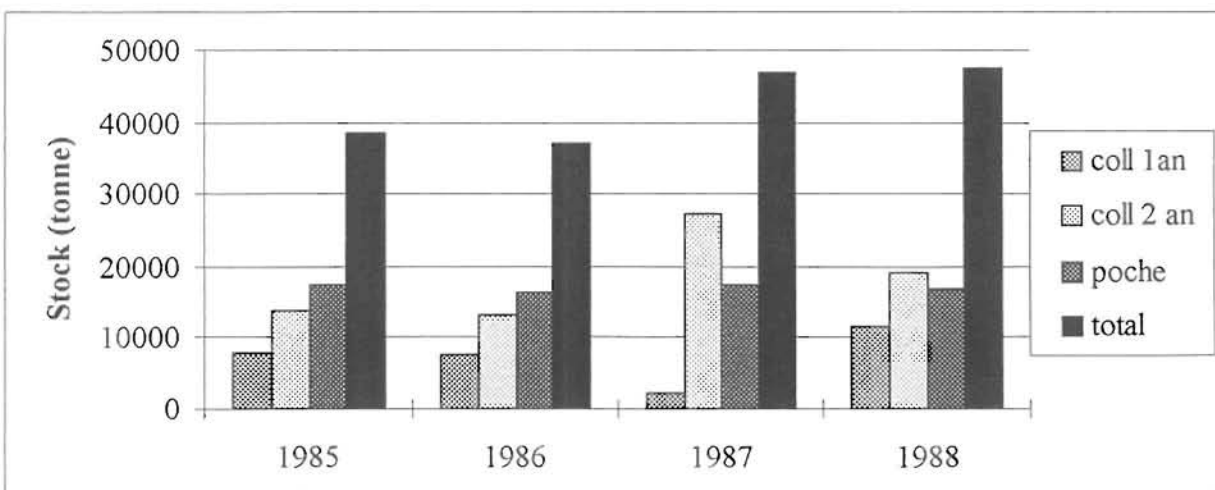


Figure 13: Evolution de 1985 à 1988 des stocks d'huîtres creuses, selon les différents types de cultures pratiqués sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf.

Le stock de collecteurs de 1 an ne dépasse pas 8 000 t en 1985 et 1986 alors que le nombre de larves à Fouras oscille entre 2 500 et 5 000 larves/m³ de 1984 à 1985 (Fig. 12). En 1986, moins de 300 larves/m³ sont recensées, ce qui entraîne un stock de collecteurs de 1 an inférieur à 2 500 t en 1987. Ce stock atteint 11 500 t en 1988 (Fig. 13) alors que le nombre de larves à Fouras est de 18 000 larves/m³ l'année précédente (Fig. 12). L'ostréiculture de la baie de Bourgneuf semble donc soumise aux fluctuations imprévisibles du recrutement à Fouras. Une quantité de naissain plus stable, fournie en partie par les nurseries ou par d'autres bassins ostréicoles, permettrait d'envisager une politique de gestion du bassin plus fiable. D'autre part, la diversité génétique des huîtres issues de ces différentes sources empêcherait les mortalités massives rencontrées lorsqu'un agent pathogène se présente dans la baie.

Résultats sur l'ensemble de la baie

Lorsqu'on utilise un échantillonnage stratifié à deux niveaux (site et type de culture), les estimations de stocks totaux pour l'ensemble de la baie devraient être calculés par la somme des stocks des différents types de culture sur chacun des quatre sites déterminés. Dans ce type de calcul, toutes les variations sont cumulées : variation liée au pourcentage de tables utilisées pour chaque type de culture et variation liée à l'estimation de densité. Pour un type de culture dans un site déterminé, le stock est donné par l'équation suivante :

$$\text{longueur de table du site} * \% \text{ du type de culture} * \text{densité du type de culture du site}$$

(mesure exhaustive) (+ variance) (+ variance)

Paradoxalement, on obtient une meilleure précision sur le stock total de la baie en utilisant la longueur totale des tables exploitées multipliée par une densité moyenne de la baie dans son ensemble, tous types de culture confondus (Tab. 5).

<i>Année</i>	<i>Longueur de table (m)</i>	<i>précision sur la longueur</i>	<i>densité moyenne (kg/m)</i>	<i>précision sur la densité</i>	<i>stock total (tonnes)</i>	<i>précision sur le stock total</i>
1985	1 448 400	-	26,80	7 %	38 317	7 %
1986	1 415 980	-	26,71	5 %	37 821	5 %
1987	1 450 430	-	33,32	7 %	48 328	7 %
1988	1 495 896	9 %	30,98	7 %	46 343	11 %

Tableau 5: Estimation des stocks d'huîtres cultivées sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf de 1985 à 1988.

Cela s'explique d'une part, par une répartition très hétérogène des différents types de culture au sein d'un même parc (un parc est soit tout en poches, soit tout en collecteurs, soit moitié-moitié...) et d'autre part, par l'hétérogénéité intrasite de la densité d'un même type de collecteur (les chiffres obtenus sur l'ensemble de la baie sont généralement deux fois plus précis que ceux obtenus sur un même site en raison du grand nombre de données).

Les années 1985 et 1986 présentent des profils semblables avec un stock total proche de 38 000 t constitué de 20 % de collecteurs de 1 an, 35 % de collecteurs de 2 ans et 45 % de poches (Fig. 13). Les années 1987 et 1988 montrent un important accroissement de stock avec respectivement, 46 000 t et 48 000 t. Sur ces quatre années le stock d'huîtres cultivées en poche varie peu, entre 16 400 t et 17 500 t; les longueurs de tables allouées pour ce type de culture (Fig. 14 a) et les densités (Fig. 14 b) restant sensiblement identiques: entre 700 et 800 km de tables pour une densité voisine de 22 kg/m.

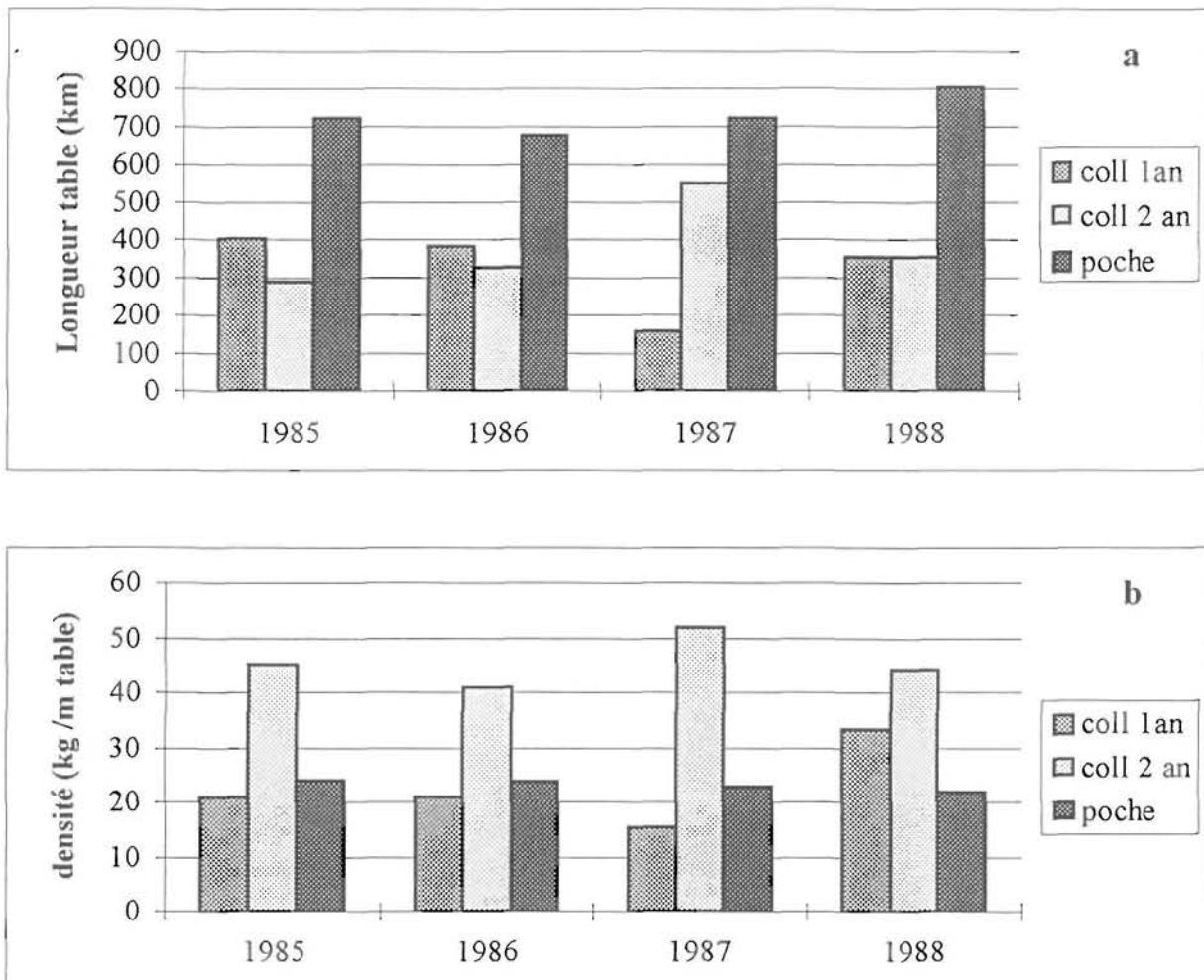


Figure. 14: Evolution de 1985 à 1988, a) des longueurs de tables; b) des densités d'huîtres, selon les différents types de culture pratiqués sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf.

L'année 1987 est caractérisée par un stock important de collecteurs de 2 ans qui occupent une partie des tables habituellement réservées aux collecteurs de 1 an mais qui n'a pas pu être garnie en raison du mauvais captage de 1986 (Fig. 14 a). Inversement, le bon captage de 1987 à Fouras, justifie la forte densité des collecteurs de 1 an relevée dans la baie de Bourgneuf en 1988 (Fig. 14 b). Ainsi, les variations de densité de collecteurs reflèteraient une variation dans le nombre d'huîtres fixées plutôt qu'une variation de croissance. De même, le suivi des densités des poches ne permet pas de conclure sur les croissances éventuelles puisque la pratique ostréicole tend à maintenir une densité constante proche de 20 kg/poche.

En baie de Bourgneuf, l'élevage sur collecteur jusqu'à la taille marchande, est beaucoup plus répandue que dans les autres bassins conchylicoles français. Du fait de cette pratique, plus de 40 % du stock a une densité supérieure à 40 kg/m de table (charge ponctuelle double de celle des poches).

La nature des types de collecteurs utilisés dans la baie de Bourgneuf évolue (Fig. 15). En 1985, les ardoises beaucoup trop lourdes (1 780 g, précision 50 %, n = 87) ne sont déjà plus guère employées. Bien que les collecteurs à coquilles St Jacques soient également assez lourds (590 g, précision 24 %, n = 161), ils sont toujours employés car ils offrent une grande surface de captage. En revanche, les collecteurs en coquilles d'huîtres (380 g, précision 19 %, n = 240) sont abandonnés au profit des tubes en plastique plus légers (350 g, précision 58 %, n = 29) et surtout plus facile à détacher (action de détacher les huîtres du support) (Fig. 15).

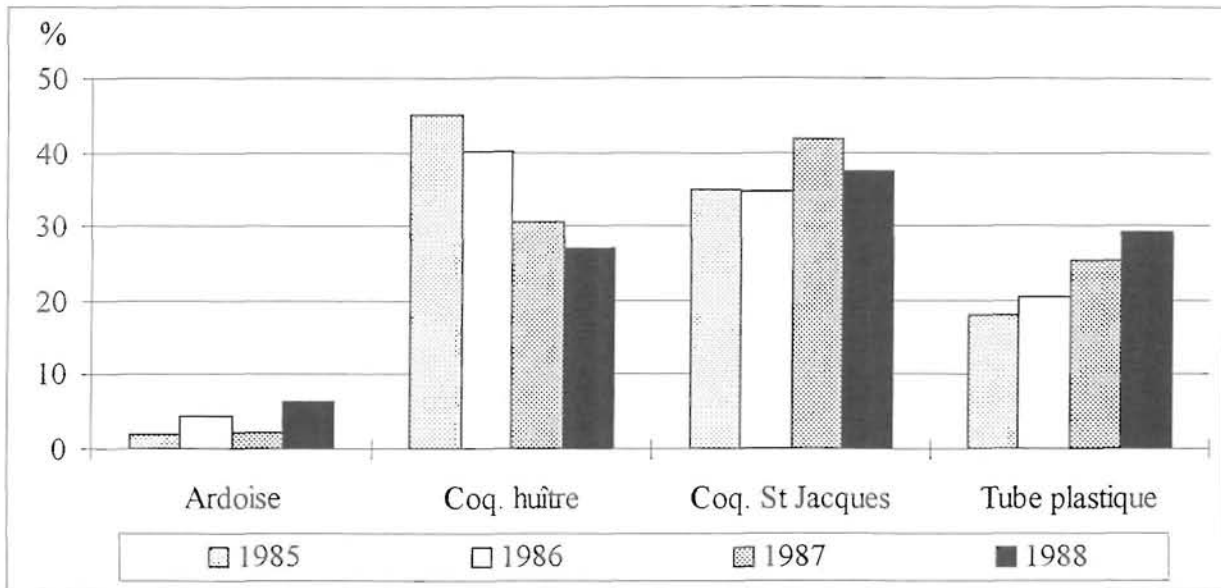


Figure 15: Evolution de 1985 à 1986 de la nature des types de collecteurs employés dans la baie de Bourgneuf.

Bien qu'il n'existe pas de données chiffrées, l'essor du tube en plastique a dû s'amplifier au fil des années en particulier grâce aux machines à détroquage automatique, très largement répandues chez les professionnels de la baie de Bourgneuf. En général, le nombre de collecteurs par mètre de table est voisin de 7 quelle que soit la nature des collecteurs mais il peut aller jusqu'à 14, occasionnant de fortes surcharges locales.

Une autre pratique culturelle répandue en baie de Bourgneuf a tendance à surcharger ponctuellement certains secteurs. Il s'agit de parcs aménagés en double rangées de tables, ce qui augmente la charge d'un tiers par rapport à un parc géré en simples rangées (Baud & Hommebon, 1987). Le pourcentage de tables en double rangées décroît du nord (80 % aux Moutiers) vers le sud (50 % au Gril) (Fig. 16). Ce type de structure aurait tendance à protéger les installations ostréicoles de la houle. Si tel est le cas, ces doubles rangées ne se justifient pas dans les sites du Gril et de Graisselous, bien protégés de la houle par des barrières rocheuses. Le pourcentage de tables en double rangée est de 65 % en 1985 et 59 % en 1986 mais nous manquons d'information pour savoir si cette diminution s'est poursuivie.

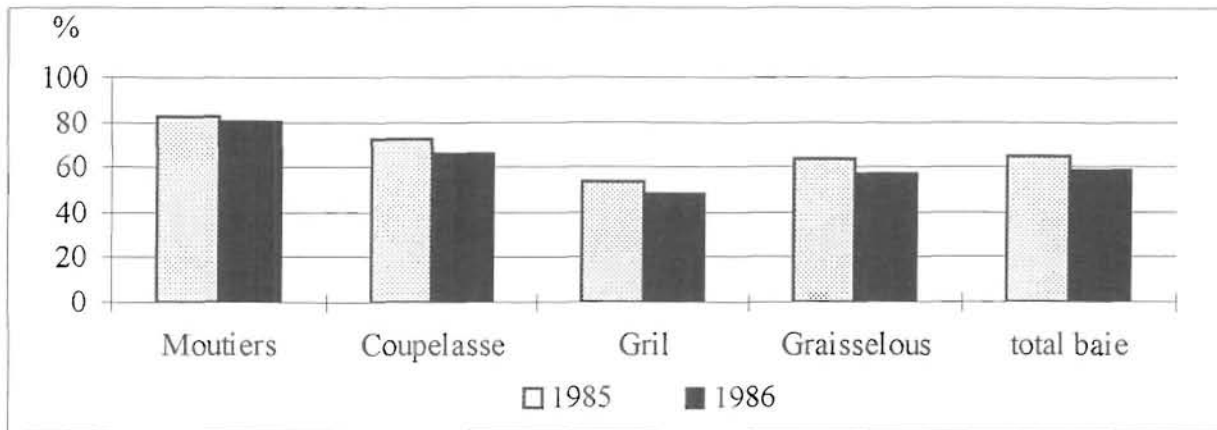


Figure 16: Pourcentage de tables ostréicoles disposées en double rangée sur les quatre sites de la baie de Bourgneuf en 1985 et en 1986.

Répartition spatiale du stock d'huîtres cultivées

Quatre grandes zones ostréicoles occupent près de 1 000 ha des 10 000 ha d'estran de la baie de Bourgneuf, du nord au sud: les Moutiers, la Coupelasse, Gril et Graisselous (Fig. 8).

De 1985 à 1988, les taux d'exploitation diminuent dans les secteurs du Gril (de 68 à 60 %) et des Moutiers (de 62 à 56 %) tandis que les deux autres secteurs restent stables: la Coupelasse (68 %) et Graisselous (48 %) (Fig. 17). Pourtant les surfaces concédées augmentent dans les trois secteurs les plus au sud ; seul le Gril n'évolue pas (Fig. 17). Il semble donc que dans le secteur des Moutiers les professionnels abandonnent d'anciens parcs au profit des nouveaux parcs acquis alors que dans les secteurs de la Coupelasse et Graisselous, les nouveaux parcs sont exploités comme les anciens. Le secteur du Gril, qui est la plus grande zone concédée avec 390 ha, ne peut pas s'étendre davantage et une partie des anciens parcs est abandonnée. Moins de 50 % de la surface concédée est exploitée dans le secteur nord-est de l'île de Noirmoutier car il s'agit, pour une grande part de parcs concédés pour l'élevage à plat qui sont situés trop haut sur l'estran pour la culture sur table.

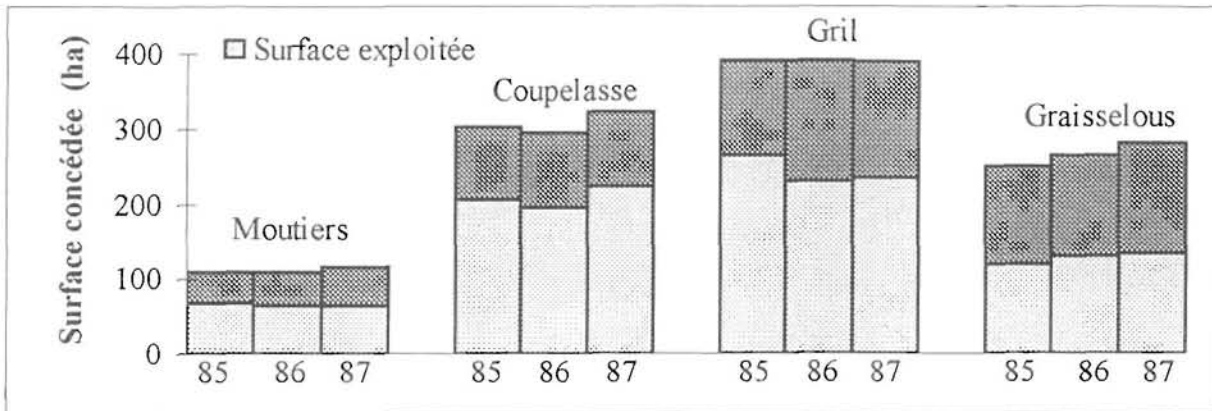


Figure 17: Evolution de 1985 à 1987, des surfaces concédées (total) et des surfaces exploitées (en clair) sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf.

Sur les quatre années étudiées, les huîtres cultivées en poche ne représentent que 38 à 43 % de la longueur totale des tables dans le secteur du Gril, alors qu'elles occupent 50 à 65 % des tables dans les autres secteurs (Fig. 18 a). Le secteur du Gril ne semble pas présenter de bonnes conditions de croissance pour les huîtres en dernière année d'élevage.

Le taux de collecteurs de 1 an varie de manière similaire dans les quatre secteurs ostréicoles: entre 23 et 29 % sauf en 1987 où ils n'atteignent que 10 % en raison du mauvais captage de 1986 (Fig. 18 b).

Les collecteurs de 2 ans sont plus fréquents dans le secteur du Gril que dans les autres secteurs. Ils ont tendance à augmenter de 1985 à 1988 dans les secteurs les plus au sud (Fig. 18 c).

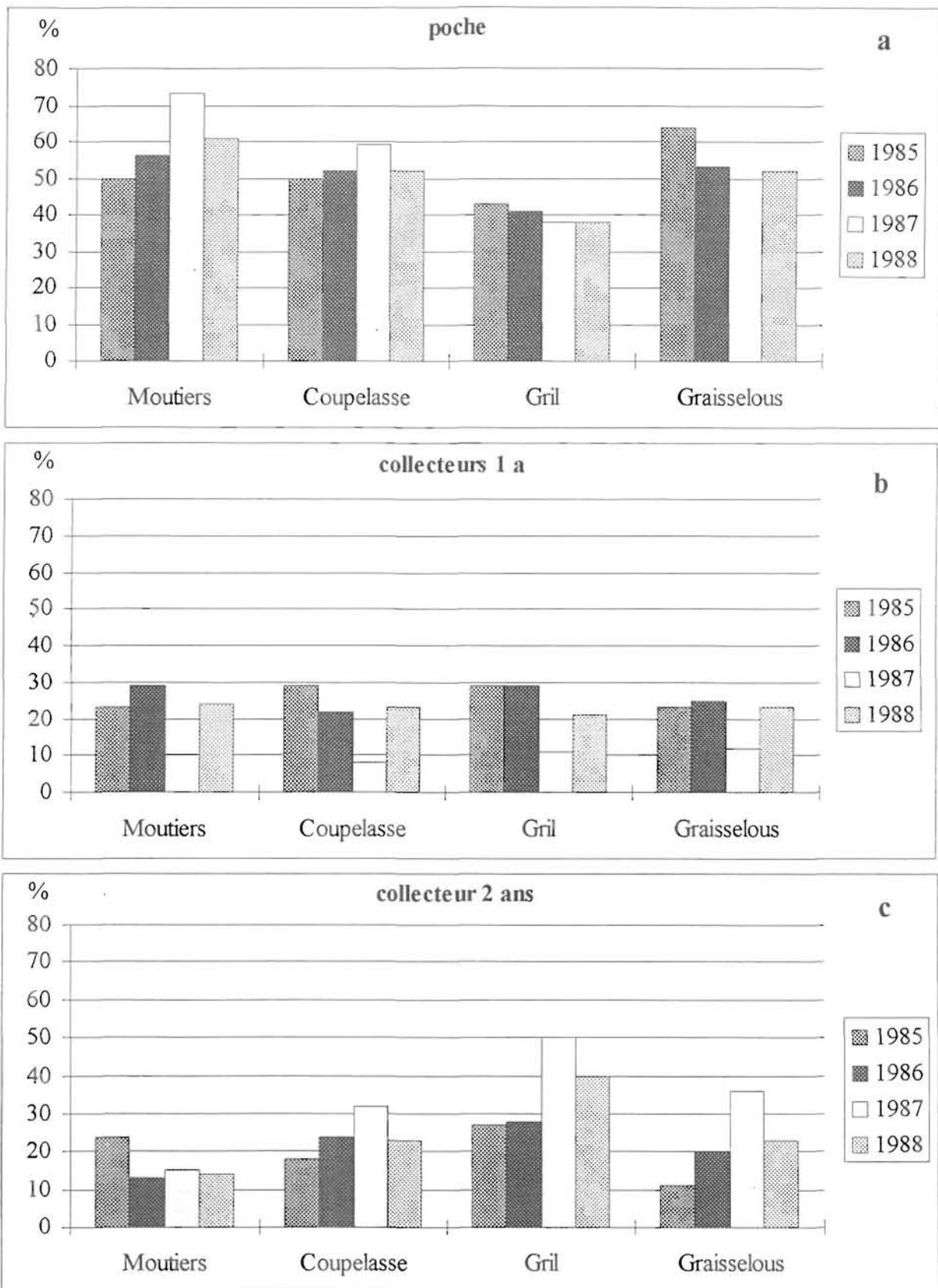


Figure 18: Evolution de 1985 à 1988, du pourcentage des longueurs de tables ostréicoles utilisées a) par les poches, b) par les collecteurs de 1 an, c) par les collecteurs de 2 ans, sur les quatre sites de la baie de Bourgneuf.

Les densités importantes (> 30 kg/m de table) (Fig. 19 a), relevées en 1987 et 1988 dans les secteurs sud du Gril et de Graisselous, sont dues au nombre croissant de collecteurs de 2 ans. Dans les deux sites nord, Moutiers et la Coupelasse, les densités (Fig. 19 a) et les stocks, par voie de conséquence (Fig. 19 b), évoluent selon l'importance du nombre de poches et de collecteurs de 1 an. En effet, les poches et les collecteurs de 1 an des secteurs nord ont des densités supérieures de 4 kg et 10 kg (respectivement) par rapport aux mêmes systèmes de culture dans les secteurs sud, sauf en 1987 (Annexe 1). Les secteurs favorables à la croissance des collecteurs de 2 ans varient selon les années (Annexe 1). Ces tendances restent cependant à vérifier sur une plus grande échelle de temps avec une analyse plus précise du taux de croissance.

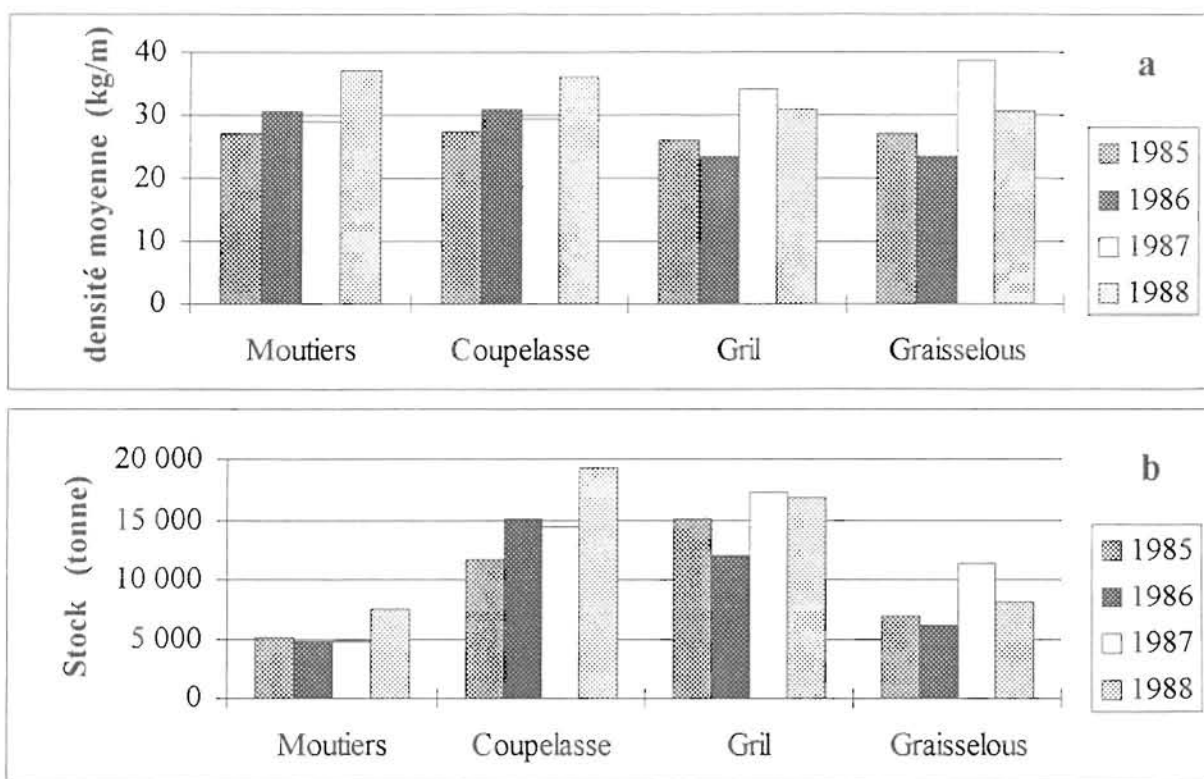


Figure 19: Evolution de 1985 à 1988, dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) des densités d'huîtres exprimées en kg par mètre de table, b) du stock d'huîtres, tous types de culture confondus.

Il apparaît une différenciation entre les secteurs nord-sud qui pourrait être le fait de la déplétion de nourriture par les moules de gisements naturels qui se trouvent en amont des secteurs ostréicoles sud sur les roches de la Vendette. En effet, la courantologie du bassin nous indique que les masses d'eau amenées avec le flot, proviennent du nord puis passent en partie sur les gisements moulières avant d'aller alimenter les huîtres du Gril et de Graisselous.

III-1-3 Estimation du stock de moules de gisement naturel

Afin d'évaluer l'importance des moules de la baie de Bourgneuf en tant que compétiteur trophique des huîtres cultivées, une estimation des stocks de moules (*Mytilus edulis*) est réalisée de 1986 à 1988 (Baud & Haure, 1988; Lefrançois, 1988; Baud & Haure, 1989; Baud et al., 1990). Les gisements naturels de moules sont localisés principalement sur les roches de la Vendette et sur les sédiments meubles du chenal du Fain (Fig. 8).

III-1-3-1 Protocole

Le recensement des différents gisements est établi auprès des professionnels qui pêchent les moules sauvages tout au long de l'année. Des strates sont définies selon les critères géographiques suivants :

- zone subtidale de sédiment meuble, situé à l'est du gisement : le chenal du Fain.
- zone intertidale de substrat rocheux sur laquelle se différencie de l'est vers l'ouest : la Préoire, la Vendette, Riberge, la Chausse et les Sableaux (substrat sableux). En 1986, la Préoire et Vendette sont regroupés.

Le stock total est égal au cumul des stocks des différentes strates. Pour chaque strate étudiée, l'estimation de stock de moules est basée sur le produit de la surface colonisée par les moules ($Scol_k$) avec la densité moyenne des moules sur cette strate (dm_k). Ainsi pour une strate géographique k , on peut calculer :

$$STOCK_k = Scol_k * dm_k$$

avec $Scol_k = Sth_k * Z_k$ et $dm_k = Pn_k^+ / Sn_k^+$

$STOCK_k$ = Stock total de la strate k (tonne)

$Scol_k$ = surface colonisée de la strate k (ha)

dm_k = densité moyenne de la strate k (tonne / ha)

Sth_k = surface théorique de la strate k (ha)

Z_k = pourcentage de prélèvements positifs sur tous les prélèvements effectués sur la strate k

Pn_k^+ = somme des poids de moules présentes dans les prélèvements positifs

Sn_k^+ = somme des surfaces des prélèvements positifs

Zone subtidale

La limite théorique de chaque strate, définie d'après les informations des professionnels, est reportée sur une carte SHOM (échelle 1/46 300). Ces surfaces sont divisées en surfaces élémentaires de 5,3 ha. Un tirage aléatoire permet de sélectionner les surfaces élémentaires qui seront échantillonnées sur le terrain, dont le nombre correspond à 20 % de la totalité des surfaces élémentaires. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une benne de type Smith-Mc

Intyre, appelée plus communément "Aberdeen", qui prélève 1/10 m² de sédiment sur une profondeur de 10 à 15 cm. Ce protocole est utilisé pour la zone du Fain de 1986 à 1988. Les échantillons de moules prélevés sur le terrain sont stockés dans un dégorgeoir pendant un court laps de temps avant d'être dénombrés, pesés et mesurés.

Zone émergée à marée basse

En 1986, le protocole employé pour la zone subtidale est également utilisé pour la zone intertidale à marée haute, mais cette méthode donne une très mauvaise précision sur les substrats rocheux (erreur de 100 %) à cause de la faible concentration des taches de moules dans ce secteur et de l'hétérogénéité du substrat (Hily, 1976; Sauriau, 1986; Baud & Haure, 1989). Un protocole plus adapté aux zones rocheuses est donc élaboré et appliqué en 1987 et 1988 aux zones émergées. Les moules sont réparties en taches d'environ 4 ha, disséminées essentiellement sur la façade nord de la barrière rocheuse. Sur le terrain, la superficie de chaque tache est estimée à l'enjambée (environ 1 mètre). A l'intérieur de l'aire ainsi délimitée, la surface colonisée est estimée par jet aléatoire sur le sol d'un quadrat évidé de 1/10 m² et la présence ou l'absence de moules est notée. Les déplacements s'effectuent selon une direction et un nombre de pas tirés au hasard mais circonscrits dans l'aire prédéfinie. L'effort moyen est fixé à 2,5 quadrats par hectare. La densité moyenne est calculée selon le même protocole (Echantillonnage Aléatoire Stratifié). Les différentes modalités de mise en oeuvre du protocole de 1986 à 1988 sont rapportées dans le tableau 6.

	<i>date</i>	<i>surface théorique (ha)</i>	<i>estimation surface nb éch.</i>	<i>estimation densité nb éch.</i>	<i>surface colonisée / théorique</i>
Zone subtidale					
1986	7-11 nov.	1 458	55	26	47 %
1987	2-17 sept.	1 812	84	38	23 %
1988	20 juin-13 juil.	684	129	129	19 %
Zone intertidale					
1986	7-11 nov.	1 093	40	40	27 %
1987	15 juil.-13 août	nb tache	2,5 / ha	6 / ha	
1988	8 mai-1 août	nb tache	2,5 / ha	6 / ha	

Tableau 6: Différentes modalités des protocoles d'estimation des stocks de moules de gisements naturels de la baie de Bourgneuf, utilisés de 1986 à 1988.

III-1-3-2 Résultats selon les types de gisements naturels

Pour les résultats obtenus sur la zone immergée, le fait de travailler en "aveugle" sans pouvoir évaluer la superficie ou la nature des gisements moulières, pénalise fortement les précisions finales (53 à 71 %) (Tab. 7), malgré un effort d'échantillonnage croissant sur des zones d'études de plus en plus restreintes. La précision obtenue sur les stocks de moules de la zone intertidale est nettement améliorée avec le nouveau protocole (E.A.S. récolte à pied) (Tab. 7). Cette précision de 15 % est le résultat d'un effort d'échantillonnage important : 44 h en 1987 et 116 h en 1988.

	<i>année</i>	<i>zone intertidale</i>	<i>zone subtidale</i>	<i>total</i>
Surface colonisée (ha)	1986	689 (28,3 %)	298,7 (36,9 %)	987,9 (25 %)
	1987	410 (40,3 %)	68,3 (11,7 %)	478,0 (36 %)
	1988	133 ?	33,5 (9 %)	166,5 ?
Densité (tonne / ha)	1986	43,4 (51 %)	33,8 ?	
	1987	55,8 (33,7 %)	51,2 ?	
	1988	34,4 ?	63,9 (12 %)	
Stock total (tonne)	1986	29 930 (59 %)	10 100 (80 %)	40 000 (49 %)
	1987	22 861 (53 %)	3 500 (23 %)	23 870 (45 %)
	1988	4 550 (71 %)	2 140 (15 %)	6 000 (49 %)
% de moules dont la taille est > 40 mm	1986	1 %	71 %	19 %
	1987	48 %	46 %	53 %
	1988	61 %	14 %	51 %
Stock commercialisable (tonne)	1986	299	7 189	7 488
	1987	10 973	1 599	12 573
	1988	2 776	292	3 068

Tableau 7 : Résultats des estimations de stocks de moules de gisements naturels de la baie de Bourgneuf de 1986 à 1988. La précision à 95 % est notée entre parenthèses. Les stocks de moules commercialisables correspondent aux moules dont la taille est > 40 mm

L'évolution comparative des stocks de moules n'est pas aisée car les dates de prélèvement ne sont pas les mêmes (Tab. 6). Non seulement les stocks peuvent varier en raison de la croissance ou la prédation naturelle mais également à cause de la pêche très irrégulière qui dépend plus des débouchés commerciaux que de l'abondance de moules.

La diminution des stocks (de 40 000 t en 1986 à 6 000 t en 1988; Tab 7) apparaît plus comme la conséquence directe d'une réduction de l'étendue des gisements (300 ha en 1986 et 30 ha en 1988) que des fluctuations de densité. La présence en baie de Bourgneuf de grandes quantités d'étoiles de mer *Asterias rubens*, prédatrices de moules, peut être une des causes de la régression globale de ce gisement (Lefrançois, 1988). D'autre part, la pression de pêche s'accroît durant ces trois années, puisque le tonnage débarqué reste sensiblement identique pendant cette période (3 600 t en 1986; 3 015 t en 1987; 3 439 t en 1988; données Affaires Maritimes) alors que les stocks diminuent. Enfin, une perturbation du recrutement soit par une pêche trop importante du naissain, soit par les tempêtes automnales ou la déstabilisation des substrats meubles par les dragues, peuvent être également impliquées de cette diminution des stocks de moules, notamment dans le chenal du Fain.

L'analyse des fréquences de tailles indique trois cohortes (Lefrançois, 1988). Le Gallo (1972) constate que le naissain de moule de gisement se fixe de février à novembre avec un maximum en juin dans la baie de Bourgneuf. Une moule nécessite 12 à 24 mois pour atteindre une taille commercialisable (40 mm). Il semble que les moules des zones immergées aient une croissance plus rapide et une coquille plus fine que celles des zones émergées. En effet, les moules soumises à un hydrodynamisme plus fort développent une coquille plus épaisse pour se protéger (Barillé-Boyer, 1996). En 1986, le naissain se situe principalement dans le chenal du Fain, tandis qu'en 1988 il occupe préférentiellement les roches de Riberge et de la Préoire. En 1986, les moules commercialisables représentent moins de 20 % du stock total tandis qu'en 1987 et 1988 elles forment plus de 50 % du stock total et sont alors localisées dans le chenal du Fain. Une pêche trop importante dans cette zone pourrait alors nuire gravement au renouvellement du gisement moulier. Nous manquons d'informations pour décrire la situation actuelle de ce gisement.

III-1-4 Estimation du stock de moules cultivées sur bouchots

L'estimation des stocks de moules cultivées sur bouchot n'a été effectuée qu'en 1988 (9-10 juin et 2-3 août) par Lefrançois (1988). Les concessions de moules de bouchot sont

localisées sur deux sites à l'intérieur de la baie de Bourgneuf: Maison Blanche et le Fiol-Northe (Fig. 8). Le stock est estimé de la manière suivante :

$$\text{nb de bouchots} * \text{nb moyen de pieux par bouchot} * \text{biomasse moyenne de moule par pieux}$$

Le protocole utilisé est celui défini par Mazurié et Dardignac-Corbeil (1988) pour l'estimation des stocks des moules sur bouchot dans le Pertuis Breton en 1987. Les résultats sont présentés dans le tableau 8.

<i>site</i>	<i>longueur conçédée (m)</i>	<i>nb de bouchots</i>	<i>nb pieux garnis / bouchot</i>	<i>biomasse moyenne / pieu (kg)</i>	<i>stock (tonne)</i>
Maison Blanche	18 850	194	133 (14,6 %)	29,4 (29,2 %)	760 (29,2 %)
Fiol-Northe	15 800	72	97,8 (27,8 %)	25,5 (39,4 %)	180 (39,4 %)
Total baie	34 650	266			940 (25 %)

Tableau 8: Résultats de l'estimation des stocks de moules cultivées sur bouchot dans la baie de Bourgneuf en 1988. La précision à 95 % est notée entre parenthèses.

Le stock de moules de bouchot de la baie de Bourgneuf est estimé à 940 t (± 25 %), dont 80 % provient de Maison Blanche. Les moules de bouchot ne représentent que 16 % des moules de gisements naturels, dont le stock est pourtant très réduit en 1988, et à peine 2 % du stock des huîtres cultivées dans la baie. Compte tenu de leur stock peu important et de leur position géographique, les moules de bouchot ne peuvent pas avoir un impact négatif conséquent sur la croissance des huîtres du secteur sud.

Le secteur de Maison Blanche est exploité pour le captage de naissain en raison de l'important recrutement qui s'y produit annuellement. Dans ce site, 38 % du stock est commercialisable en août, soit 290 tonnes. Dans la zone du Fiol-Northe, cette proportion s'élève à 60 % du stock soit 110 tonnes (Lefrançois, 1988). Près de 400 tonnes de moules de bouchot (40 % du stock total) sont donc commercialisables en août sur l'ensemble de la baie (Lefrançois, 1988). Si on estime la production annuelle à 20 kg par pieu (source Affaire Maritimes du quartier de Noirmoutier), la production annuelle de Maison Blanche serait de 400 à 600 t/an et celle de Fiol-Northe de 100 à 180 t/an.

La vente des moules de taille marchande se fait après 18 à 30 mois d'élevage (Lefrançois, 1988). Ces croissances sont comparables avec celles observées sur les bouchots du bassin de Marennes-Oléron en 1983-1984 (Boromthanasat, 1986) et avec celles relevées sur les bouchots du Pertuis Breton en 1987 (Mazurié & Dardignac-Corbeil, 1988). Dans la baie du Mt St Michel, Berthomé et al. (1987) notent une durée d'élevage de 12 à 21 mois, bien que les charges par pieu soient plus élevées (38 à 58 kg). De même, les biomasses de moules par pieu de 38 à 67 kg à Marennes-Oléron (Boromthanasat, 1986) et 54 kg ($\pm 12,4\%$) dans le Pertuis Breton (Mazurié & Dardignac-Corbeil, 1988), confirment la faible charge des pieux de la baie de Bourgneuf (20 à 38 kg à Maison Blanche et 15 à 35 kg au Fiol-Northe) (Lefrançois, 1988). Il est difficile de conclure que les sites réservés aux bouchots dans la baie de Bourgneuf sont peu "poussants", bien que les croissances soient lentes pour les faibles charges biologiques mises en cause, car les comparaisons avec les autres bassins mytilicoles ne sont pas faites la même année.

III-2 Influence des moulières naturelles sur la croissance des huîtres

L'étude des stocks de mollusques dans la baie de Bourgneuf révèle l'importance du stock de moules de gisement par rapport à celui des huîtres cultivées dans la baie. En 1986, les deux espèces présentent des biomasses proches de 40 000 tonnes. Puis le stock de moules diminue jusqu'à 24 000 t en 1987 (Fig. 20 a) ; parallèlement on observe une augmentation significative de la biomasse d'huîtres de 10 000 t localisée essentiellement dans la zone sud (Gril + Graisselous) (Fig. 20 b) sans expansion des longueurs de tables exploitées (Fig. 20 c). Cette évolution pourrait s'expliquer par la diminution de la compétition trophique des moules de gisement qui se situent en amont des parcs ostréicoles sud entre 1986 et 1987 (Baud *et al.*, 1990). En 1988, l'importante diminution du stock de moules sauvages (Fig. 20 a) ne s'accompagne pas d'une amélioration du rendement de production des huîtres du secteur sud par rapport à 1987. L'hypothèse d'un seuil de 20 000 t de moules qui ne devrait pas être dépassé sous peine de préjudice à la croissance des huîtres des secteurs sud est alors formulée (Haure *et al.*, 1991). Cependant, ces auteurs n'ont pas pris en compte l'évolution des pratiques culturales dans les secteurs ostréicoles du nord et du sud. En effet, en raison du mauvais captage de 1986, les collecteurs de 1 an sont beaucoup moins nombreux en 1987 et les tables qui leur sont habituellement réservées sont occupées par les collecteurs de 2 ans (cf. chap. III-1-2-b). Les professionnels préférant les secteurs sud pour la pousse des collecteurs, la quantité de collecteurs de 2 ans augmente considérablement en 1987 dans ces secteurs (Fig. 21 a).

L'évolution du stock d'huîtres cultivées dans le sud serait donc essentiellement liée aux variations de pratique culturale, atténuant ainsi le rôle de la moulière.

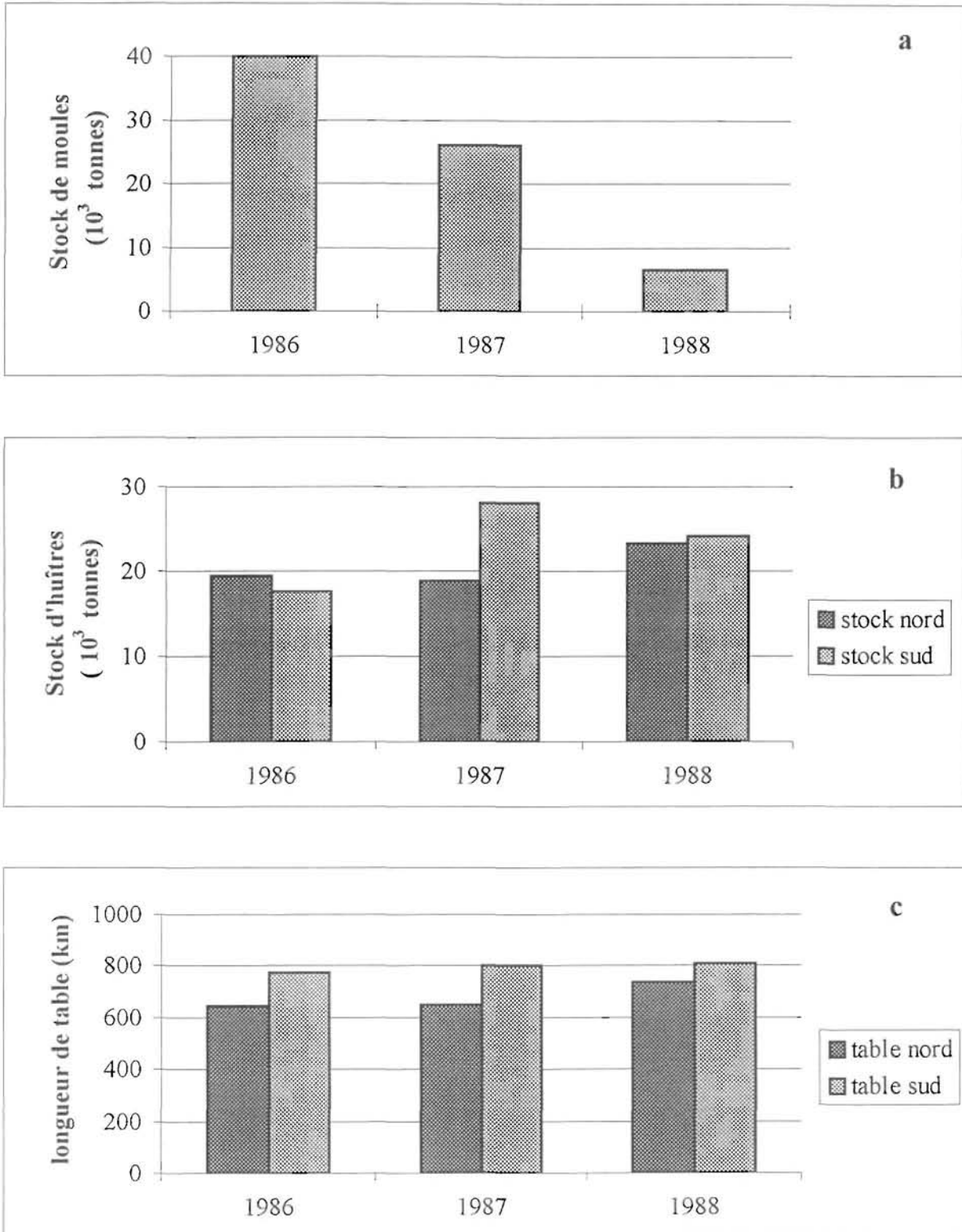


Figure 20: Evolution de 1986 à 1988, a) du stock de moules de gisement, b) du stock d'huîtres cultivées au nord (Moutiers + la Coupelasse) et au sud (Gril + Graisselous), c) des longueurs de tables ostréicoles exploitées dans le nord et dans le sud.

Les densités des collecteurs de 2 ans situés en zone nord sont constantes de 1986 à 1988 (Fig. 21 b) tandis que celles des secteurs sud montrent un pic en 1987 (53 kg/m) et une diminution en 1988 (44 kg/m). S'agit-il d'une variation du nombre de collecteurs par mètre de table ou bien d'une réelle différence de croissance (le captage ayant été le même pour les collecteurs nord et sud) ? Dans cette dernière hypothèse, si on admet que l'augmentation des densités des collecteurs sud en 1987 est liée à la diminution du stock de moules en amont, comment expliquer la diminution des densités l'année suivante alors que la moulière a encore régressé. Seule une étude détaillée de la croissance dans les quatre secteurs ostréicoles de la baie pourra nous renseigner.

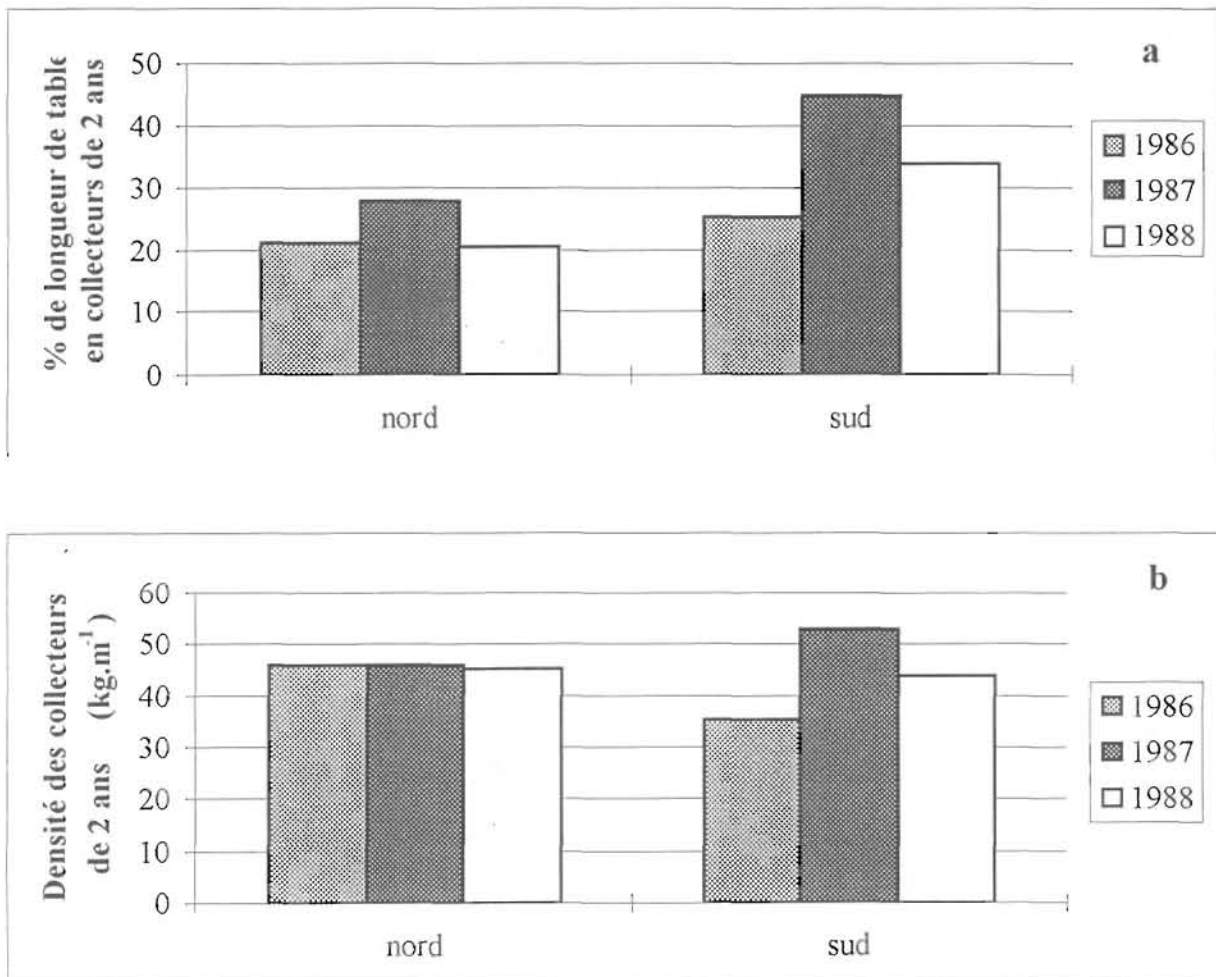


Figure 21: Evolution de 1985 à 1986, a) du pourcentage de tables ostréicoles allouées au collecteurs de 2 ans au nord (Moutiers + la Coupelasse) et au sud (Gril + Graisselous), b) de la densité des collecteurs de 2 ans au nord et au sud (exprimée en kg par mètre de table).

Stock des mollusques de la baie de Bourgneuf

A retenir

Le stock d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf dépend du captage, très irrégulier, de Fouras (Bassin de Marennes-Oléron), d'où provient 99 % du naissain de la baie. Une quantité de naissain plus stable, fournie en partie par les nurseries (lorsqu'elles auront résolu leur problème de mortalité estivale) ou par d'autres bassins ostréicoles, permettrait d'envisager une politique de gestion du bassin plus fiable. D'autre part, la diversité génétique des huîtres issues de ces différentes sources empêcherait les mortalités massives lorsqu'un agent pathogène se présente dans la baie.

Les pêches de moules de gisement en raison de leur qualité médiocre (1 FF/kg) et les productions de moules de bouchot à cause de leur faible tonnage (600 t/an) ne représentent qu'un faible apport économique (6 à 12 millions de francs) comparé aux 110-130 millions de francs annuels fournis par la vente des huîtres de la baie.

Le nombre de parcs concédés s'accroît annuellement de 1 à 2 % bien que 60 % seulement des surfaces concédées soient exploitées sur l'ensemble de la baie. Il serait nécessaire d'estimer le stock d'huîtres sauvages qui poussent sur les parcs abandonnés car il peut si ce stock est significatif, avoir un impact négatif dans certains secteurs sur la croissance des huîtres cultivées. A Marennes-Oléron ces huîtres sur les parcs abandonnés ont été estimées à 17 000 t pour un stock d'huîtres cultivées de 93 000 t (Prou *et al.*, 1994).

Le stock d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf varie de 38 000 t en 1985-86 à 47 000 t en 1987-88. Cette évolution est essentiellement due aux variations de stocks d'huîtres cultivées sur collecteur qui représentent plus de 60 % du stock total. Du fait de cette pratique, plus de 40 % du stock se trouve à des densités supérieures à 40 kg/m de table. Dans la plupart des autres sites ostréicoles français, afin de diminuer les charges localement, les huîtres sont détachées plus tôt et mises en poche (22 kg/m de table) pour poursuivre leur croissance.

L'étude des stocks d'huîtres de 1985 à 1988 indique que les sites nord des Moutiers et de la Coupelasse sont favorables à la croissance des huîtres cultivées en système de moindre densité : collecteur 1 an (+ 10 kg/m) et poche (+ 4 kg/m) par rapport aux mêmes systèmes dans les zones sud. Cela semble être confirmé par la pratique des professionnels qui chargent préférentiellement les zones sud en collecteurs de 2 ans.

L'étude des stocks de moules de bouchot dans la baie de Bourgneuf en 1988 indique une durée d'élevage assez longue (15 à 30 mois) bien que les pieux soient faiblement chargés par rapport aux autres sites mytilicoles. Ce stock, estimé à 940 tonnes en août (dont 80 % provient de Maison-Blanche), représente moins de 2 % du stock d'huîtres cultivées dans la baie. Les moules de bouchot pourront donc être négligées dans l'optique d'une estimation de la capacité trophique de la baie de Bourgneuf.

Les gisements naturels de moules de la baie de Bourgneuf se situent dans le chenal du Fain et sur les roches de la Vendette-Préoire. Disposées en amont des secteurs ostréicoles sud, ces moulières pourraient jouer un rôle de compétiteur trophique important. L'estimation effectuée en 1986 indique que les moules et les huîtres cultivées ont une biomasse identique de 40 000 t. Suite à un effort de pêche important et à une prédation naturelle par les étoiles de mer le stock de moules diminue de 27 000 t en 1987 jusqu'à 6 000 t en 1986. Bien que l'influence négative des moulières sur la croissance des huîtres situées dans le sud n'ait pas pu être formellement mise en évidence, les moules restent des compétiteurs trophiques importants en particulier lorsque leur stock atteint de fortes biomasses. Il est donc souhaitable d'empêcher le développement trop important du stock de moules en baie de Bourgneuf en maintenant une forte pression de pêche.

IV Croissance des huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf

Le suivi de croissance annuelle des huîtres cultivées dans quatre secteurs de la baie de Bourgneuf (les Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous) est effectué de 1986 à nos jours, par le laboratoire IFREMER de Bouin. Seules deux suivis annuels ont fait l'objet d'un manuscrit: 1987 (Haure & Baud, 1990) et 1990 (Haure & Baud, 1995). Il est très rare qu'un site ostréicole possède de tels renseignements sur une aussi longue durée car c'est un travail long et fastidieux qui n'est réellement exploitable que sur plusieurs années. Nous nous proposons d'étudier la série complète de ces croissances afin d'analyser les variations interannuelles et intersites existantes. Les données de 1996 n'étant pas totalement dépouillées à ce jour, notre étude concernera la période 1986 à 1995.

Dans chacun des quatre secteurs ostréicoles définis, un parc test, découvrant à marée basse pour un coefficient de marée supérieur à 70, est choisi en accord avec le propriétaire (Fig. 22). Trois estimations de la croissance des huîtres sont menées simultanément de mars à novembre, période pendant laquelle s'observe la plus grande augmentation de poids des huîtres en baie de Bourgneuf (Haure & Baud, 1990):

- une étude de croissance selon la technique professionnelle de culture en poche ostréicole. Le rendement biologique est estimé par le gain en poids de la totalité des huîtres vivantes de la poche.

- un suivi individuel est effectué sur quelques huîtres prises au hasard dans une autre poche. Cette technique permet de prendre en compte les variations de croissances liées à la pratique ostréicole et reflète les différences intersites observées par les professionnels.

- une approche plus expérimentale consiste à étudier la croissance d'huîtres fixées sur une plaque disposée au milieu des poches ostréicoles. Ce système permet d'estimer une croissance optimale liée aux caractéristiques de chaque secteur étant donné que la densité par plaque est réduite et que les huîtres ne peuvent pas s'éroder.

La croissance est étudiée sur des huîtres de 18 mois de manière à suivre l'évolution qualitative de ces individus qui devraient être commercialisés en fin d'année. Cette période finale du cycle d'élevage, réputée délicate en baie de Bourgneuf (Haure & Baud, 1990), est importante pour l'économie de la baie, car plus de 80 % de la production annuelle est vendue

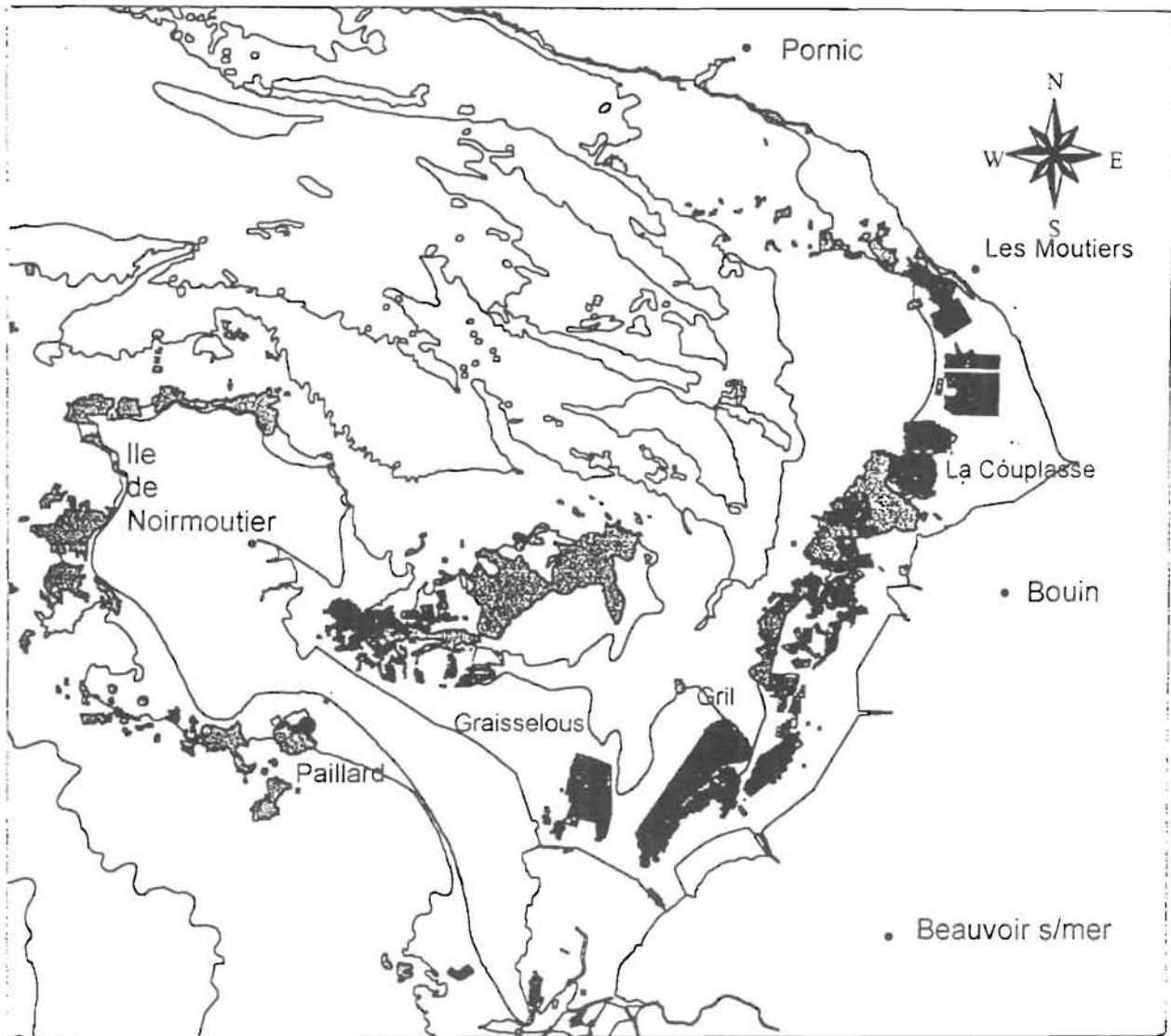


Figure 22: Situation géographique des parcs sélectionnés dans chacun des quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf et dans le site de Paillard, au sud de l'île de Noirmoutier.

pendant la période de Noël par les grosses entreprises ostréicoles. Les petites entreprises, dont la production n'excède pas 25 t/an vendent leurs huîtres tout au long de l'année.

IV-1 Mortalité et production biologique par poche ostréicole

Ces deux paramètres sont importants pour le professionnel, puisqu'ils déterminent le gain pondéral de leur unité de production (la poche) sur une période donnée (Haure & Baud, 1995). Dans certains cas, la production biologique peut être nulle, voire négative, si le gain de poids des huîtres survivantes n'excède pas les pertes dues à la mortalité et/ou à l'amaigrissement des individus.

IV-1-1 Protocole

La nature des lots initiaux, mis à l'eau en mars, évolue de 1986 à 1995.

Durant les trois premières années, 3 poches sont tirées au hasard parmi les poches des professionnels sur chacun des 4 secteurs ostréicoles. Cela explique les disparités en nombre d'individus par poche (Fig. 23 a) et en poids total de poches (Fig. 23 b) observées entre les sites en mars. L'importance des écart-types témoigne également de la grande hétérogénéité intrasite. En 1986 et 1987, il s'agit généralement de grosses huîtres à raison de 190 à 230 individus par poche tandis qu'en 1988, les huîtres sont plus petites mais plus nombreuses (Fig. 23 a et b). L'importance de ces différences initiales rendant difficile les comparaisons de mortalités et de croissances interannuelles et intersites, il a été décidé d'utiliser un lot unique et calibré pour les quatre sites les années suivantes.

Ainsi de 1988 à 1992, le suivi s'effectue sur un lot commun d'huîtres captées à Fouras et prégrossies sur des collecteurs en tube plastique dans le site des Moutiers jusqu'à 18 mois. Ces huîtres sont calibrées entre 30 et 35 g, ce qui diminue considérablement la variabilité initiale du poids des poches (Fig. 23 b). Trois poches de 200 huîtres sont placées dans chacun des sites.

De 1993 à nos jours, ce suivi s'intègre dans un vaste programme national: le réseau de surveillance REMORA (REseau MOllusque du département des Ressources Aquacoles), qui concerne les six laboratoires IFREMER chargés d'étudier les bassins ostréicoles français. Le lot initial est commun à tous les bassins ostréicoles. Il s'agit d'huîtres de 18 mois captées dans le bassin d'Arcachon et prégrossies dans le golfe du Morbihan qui sont calibrées à 30 g (\pm 1 g) avant d'être mises en poche à raison de 200 individus par poche (Fig. 23 a). Le nombre de poche par site est réduit à 1 de manière à alléger le travail mais en perdant l'information sur la

variabilité interpoche. Cependant étant donné la précision du calibrage initial, cette variabilité ne devrait pas être importante.

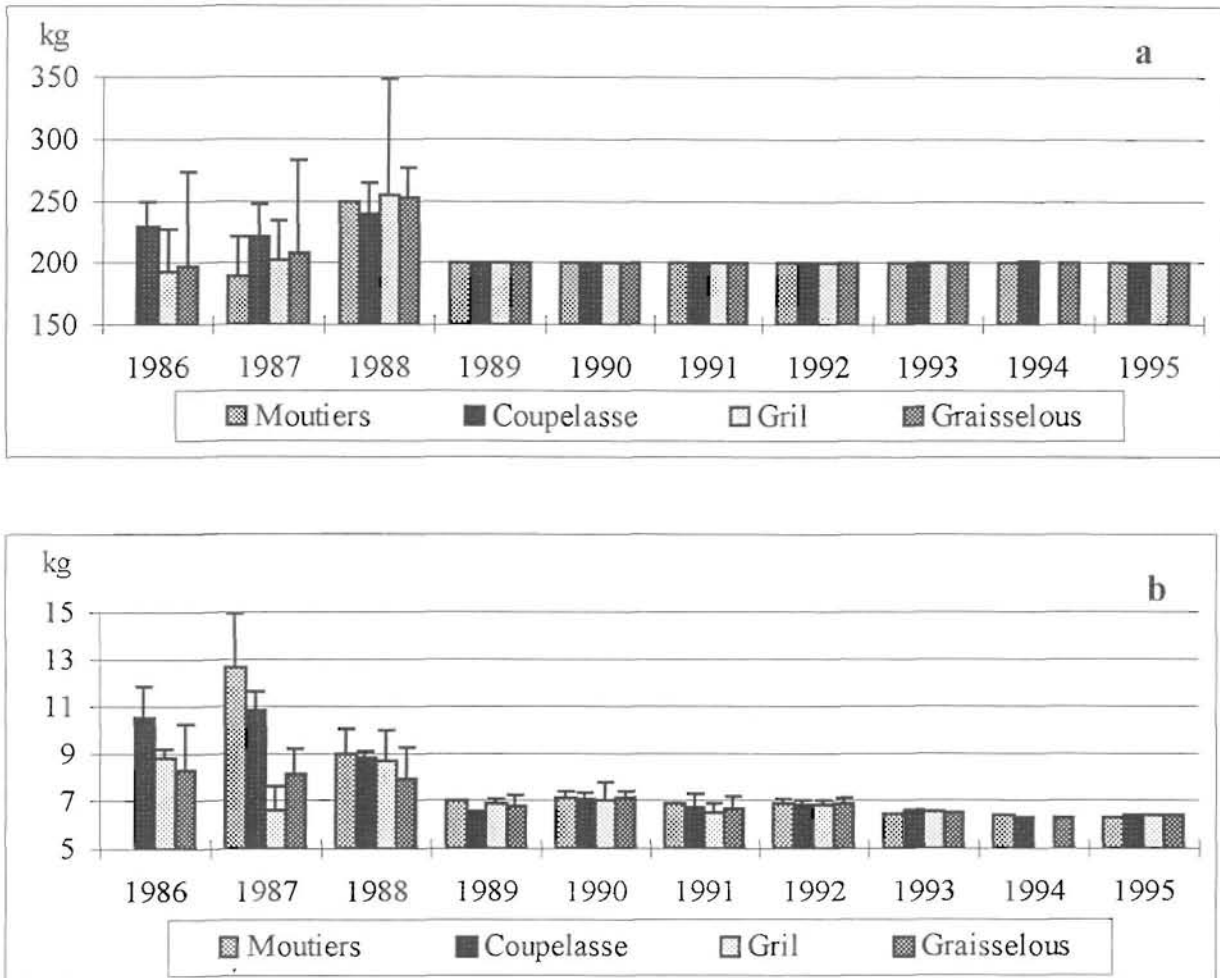


Figure 23: Caractéristiques des huîtres mises en poche en mars dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) moyenne du nombre d'huîtres par poche, b) moyenne du poids des poches. Ecart-type de la moyenne estimé sur 3 poches.

Tous les deux mois, pour éviter les arrêts de croissance dus à de trop fréquentes manipulations, (à partir de 1993, en mars, mai, septembre et novembre seulement), le nombre d'huîtres mortes par poche est décompté et le poids total des huîtres survivantes est mesuré.

Le suivi de production biologique dans le site des Moutiers en 1986 ainsi que celui du Gril en 1994 n'ont pas pu être assurés car les poches expérimentales ont été perdues.

IV-1-2 Production biologique "annuelle"

La mortalité par poche est importante de 1986 à 1988 (Fig. 24 a) alors que les densités initiales sont supérieures à 7 kg/poche, traduisant un phénomène de surcharge locale. En effet, lorsque les charges sont ramenées à 200 huîtres par poche en mars, les mortalités oscillent entre 5 et 20 individus par poche de 1989 à 1993.

Bien que l'on n'ait pas pu mettre en évidence la présence d'herpes virus sur les huîtres adultes, c'est en 1994 que les premières mortalités importantes de juvéniles associées à ce virus ont été recensées dans la Baie de Bourgneuf. Durant l'été 1995, la mortalité du naissain atteint 20 à 60 % sur l'ensemble de la baie (Baud, 1995). A terre, les nurseries de prégrossissement subissent des mortalités de 20 à 100 % à cause de l'herpes virus (Baud, 1995). Cependant les importantes mortalités observées en 1995 sur les huîtres adultes sont provoquées par l'efflorescence de *Gymnodinium cf. nagasakiense* qui sécrète une toxine hémolytique mortelle pour les bivalves (Baud, 1995). Cette espèce phytoplanctonique de la classe des dinoflagellés, est apparue fin juin aux limites nord et sud de la baie de Bourgneuf. Ces microalgues se développent généralement au niveau des thermoclines qui se forment au large des baies par temps calme et chaud, puis sont emmenées sur les secteurs ostréicoles par le courant de marée. C'est pourquoi, le secteur des Moutiers qui reçoit en premier le flot montant est le plus touché tandis que le secteur de Graisselous est le moins affecté (Fig. 24 a). De plus, cette prolifération microalgale peut provoquer une désoxygénation partielle de la colonne d'eau en particulier la nuit lorsque le brassage est faible et la température élevée (Baud, 1995).

Les écart-types importants qui caractérisent les productions biologiques des sites de la Coupelasse et Graisselous en 1991, correspondent à un calcul sur deux poches seulement, la dernière ayant été perdue (Fig. 24 b). Les fortes variabilités de production biologique entre les sites, relevées entre 1986 et 1988, résultent de l'importante variabilité des lots initiaux. Les poches chargées à plus de 10 kg/poche en mars ont un gain de poids inférieur à 1 kg ou nul. Dans le cas des Moutiers en 1988, les fortes densités initiales (9 kg/poche) diminuent rapidement en raison d'une importante mortalité et la croissance des huîtres survivantes permet alors une bonne production biologique (Fig. 24 b).

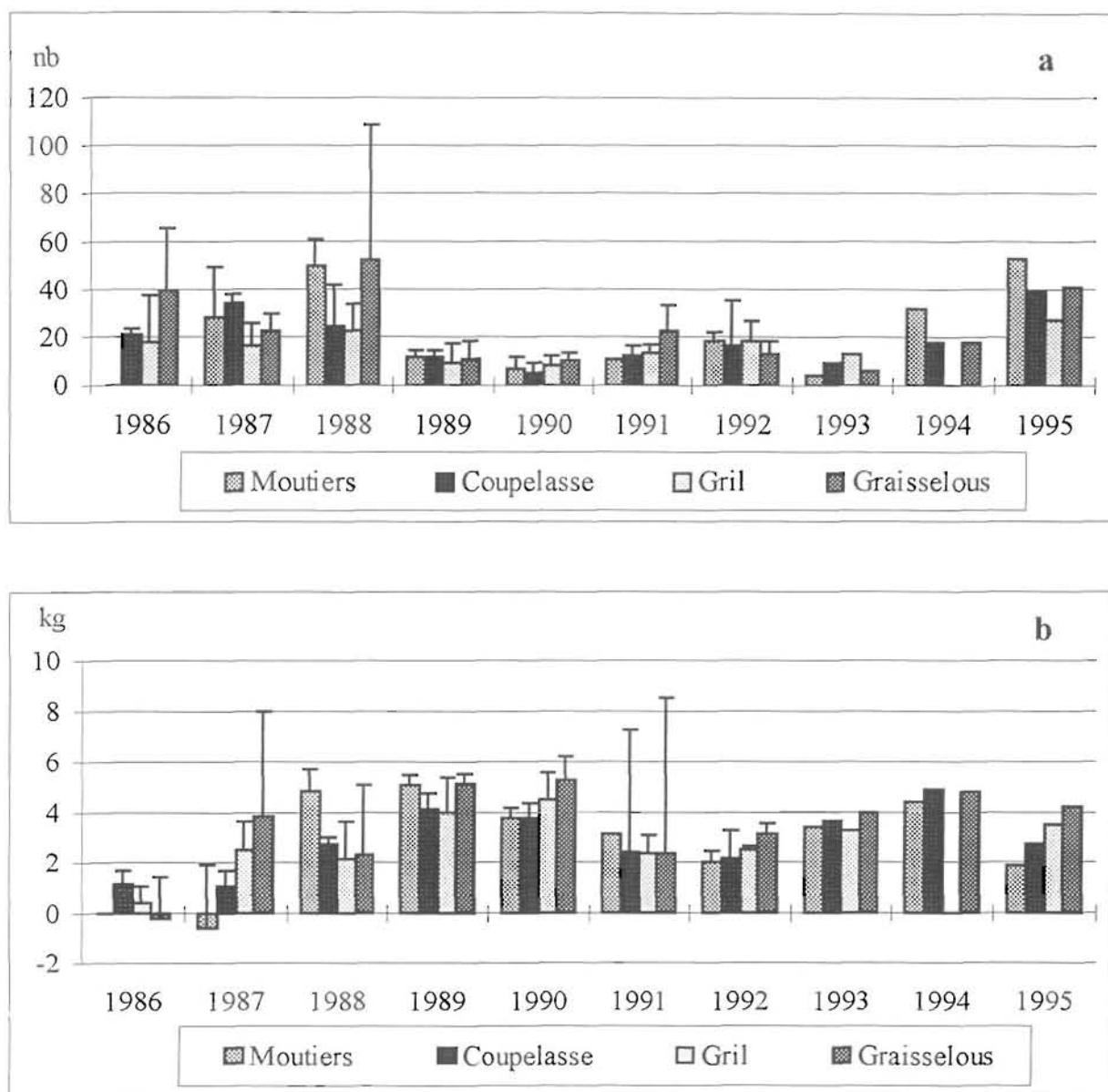


Figure 24: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la production biologique par poche, sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) moyenne du nombre d'huîtres mortes par poche entre mars et novembre, b) gain moyen de poids par poche entre mars et novembre.

Ces résultats confirment l'existence d'un effet négatif important de la surcharge à l'échelle de la poche ostréicole sur le rendement biologique (tant au niveau survie qu'au niveau croissance individuelle). Il serait intéressant d'étudier l'évolution des rendements biologiques en fonction de la charge initiale de la poche de manière à déterminer la charge initiale permettant un rendement optimal.

De 1989 à 1994, lorsque les lots initiaux ont des caractéristiques communes (7 kg/poche en mars) et qu'il n'y a pas de mortalité différentielle à cause du *Gymnodinium*, les gains de poids par poche entre mars et novembre montrent une plus grande variabilité annuelle que spatiale (Fig. 24 b). Les différences de poids entre les 4 sites en novembre sont

généralement inférieures à 1 kg/poche. Compte tenu de l'imprécision de la mesure, due aux salissures et aux épiphytes qui peuvent rester sur les poches, cette différence n'est pas significative. Il ne se dégage pas nettement de hiérarchisation des sites en fonction de leurs productions biologiques même si le secteur de Graisselous apparaît souvent comme le plus performant sur la période considérée (Fig. 24 b).

Le fait que les variations interannuelles soient beaucoup plus importantes que les variations intersites semble indiquer que les facteurs déterminant la production biologique dans la baie de Bourgneuf, ne sont pas liés aux caractéristiques physiques ou hydrobiologiques de chaque site mais plutôt à des facteurs qui ont des variations annuelles importantes et qui ont une emprise sur la totalité de la baie (tels que les facteurs météorologiques).

IV-1-3 Production biologique saisonnière

IV-1-3-1 Mortalité saisonnière

Bien qu'il existe des données bimensuelles jusqu'en 1992, par souci d'homogénéité avec les résultats des trois dernières années, trois saisons sont déterminées: le printemps (mars à mai), l'été (mai à septembre) et l'automne (septembre à novembre).

Les mortalités saisonnières sont exprimées en pourcentage du nombre initial d'huîtres pour chacun des quatre sites ostréicoles de la baie (Fig. 25). Les mortalités se produisent essentiellement au printemps et en été, la mortalité automnale n'excède pas 2 % (Fig. 25) quel que soit le site.

Les mortalités printanières sont également observées dans d'autres bassins conchylicoles tels que Arcachon (Maurer et Borel., 1986) et Marennes-Oléron (Deslous-Paoli, 1980; Bodoy, 1986). Elles sont généralement dues à un réchauffement important des eaux d'avril à juin, augmentant la demande métabolique des huîtres, alors que le milieu est encore pauvre en nourriture (Haure & Baud, 1990). En effet, Bougrier *et al.* (1995) démontrent que la respiration de *Crassostrea gigas* ne dépend que de la température du milieu et du poids de chair de l'animal, indépendamment des conditions trophiques du milieu. Dans ces conditions, les individus les plus gros sont les premiers à souffrir du manque de nourriture. D'autre part, les températures de l'eau de la baie de Bourgneuf subissent un important réchauffement de la mi-mars à la mi-avril (de 8 à 14 °C en 1982 (Marion, 1985) et de 7 à 14 °C (Baud *et al.*, 1990) tandis que l'efflorescence algale ne se produit pas avant la mi-avril (Marion, 1985; Baud *et al.*, 1990).

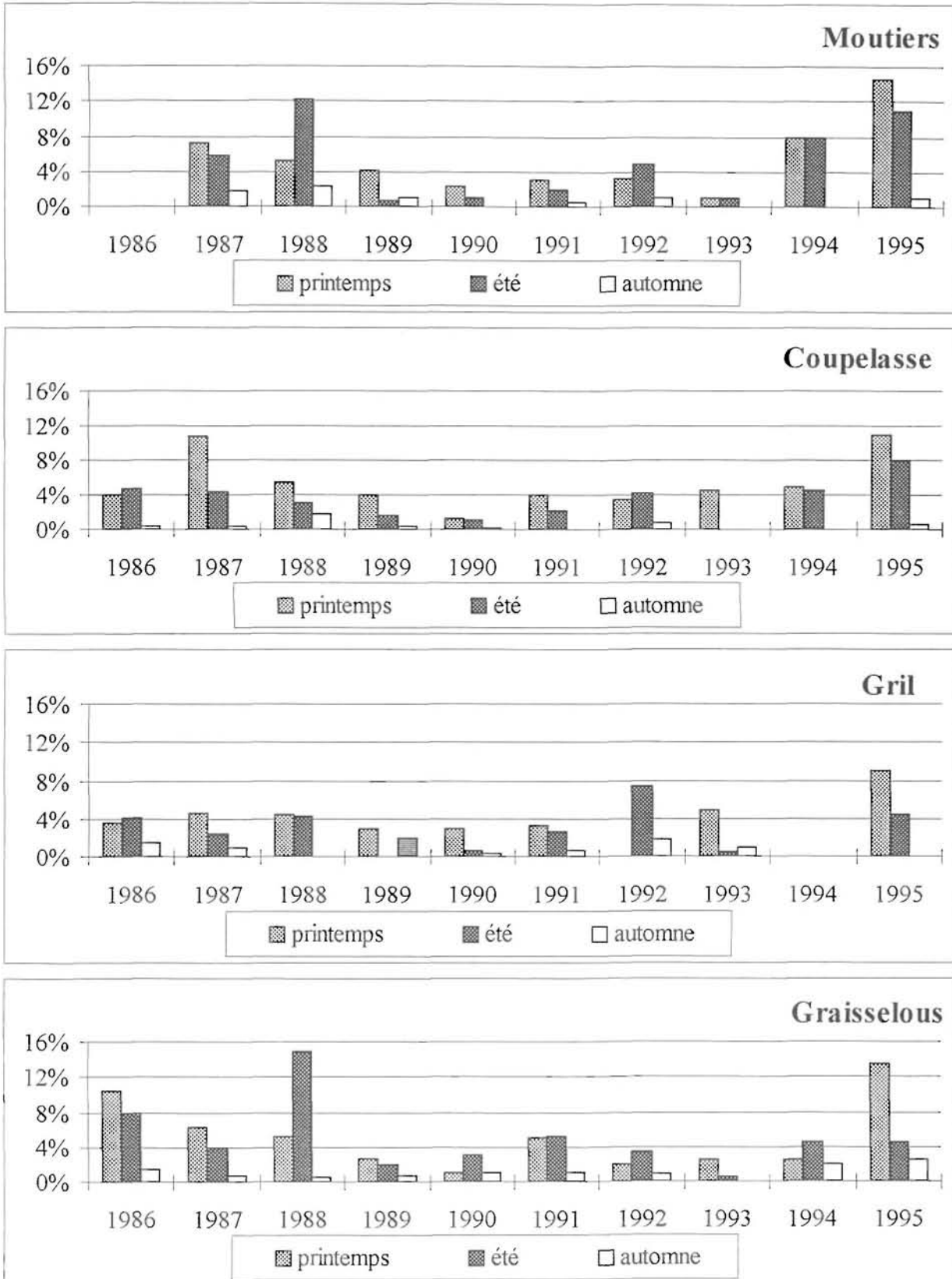


Figure 25: Evolution saisonnière des mortalités de 1986 à 1995, exprimées en pourcentage du nombre initial d'huîtres, des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf.

Lorsque le bloom algal est précoce et concomitant au réchauffement comme ce fut le cas en mars 1990 (Haure & Baud, 1995) les mortalités printanières sont très faibles (Fig. 25).

Les mortalités estivales relèvent du même processus que les mortalités printanières, exacerbées par les fortes températures et l'épuisement des éléments nutritifs par le bloom printanier. De plus, les huîtres se trouvent physiologiquement affaiblies car elles ont transformé l'essentiel de leur tissu de réserves en gamètes ou ont perdu. A l'opposé, lorsque la précocité du bloom printanier permet une seconde efflorescence estivale grâce à la reminéralisation des éléments nutritifs, comme ce fut le cas en 1990 (Haure & Baud, 1995), les mortalités estivales sont très réduites (Fig. 25).

IV-1-3-2 Gains de poids saisonniers

Les gains de poids individuels sont calculés à partir du poids total des huîtres survivantes divisé par le nombre d'huîtres survivantes. Ils sont ramenés à une valeur moyenne journalière sur l'ensemble de la saison de manière à ne pas pénaliser les saisons plus courtes. Compte tenu du mode de calcul et du poids de salissure sur les poches qui peut varier d'un site à l'autre, ces valeurs ne reflètent pas une croissance individuelle réelle (celle-ci faisant l'objet du prochain chapitre). Ces données nous renseignent sur l'évolution saisonnière des gains de poids à titre comparatif seulement.

Paradoxalement, la période automnale de moindre mortalité est également une période de faible gain en poids voire d'amaigrissement (Fig. 26). Cette absence de croissance automnale est également observée dans le bassin de Marennes-Oléron (Deslous-Paoli, 1980) et dans le bassin d'Arcachon (Maurer, 1989). Dans les secteurs nord (les Moutiers et la Coupelasse) les gains de poids sont plus importants en été tandis qu'au sud (Graisselous) ils sont plus importants au printemps (Fig. 26).

Le phytoplancton (microalgues de la colonne d'eau) se développe généralement au printemps lorsque l'augmentation de lumière et de température lui permet d'utiliser les éléments nutritifs accumulés dans le bassin pendant l'hiver. L'épuisement de ces éléments nutritifs entraîne une forte diminution de ce phytoplancton en période estivale.

Le microphytobenthos (microalgues se développant dans les premiers centimètres du sédiment des zones intertidales; Cariou-Le Gall & Blanchard, 1995) est très productif

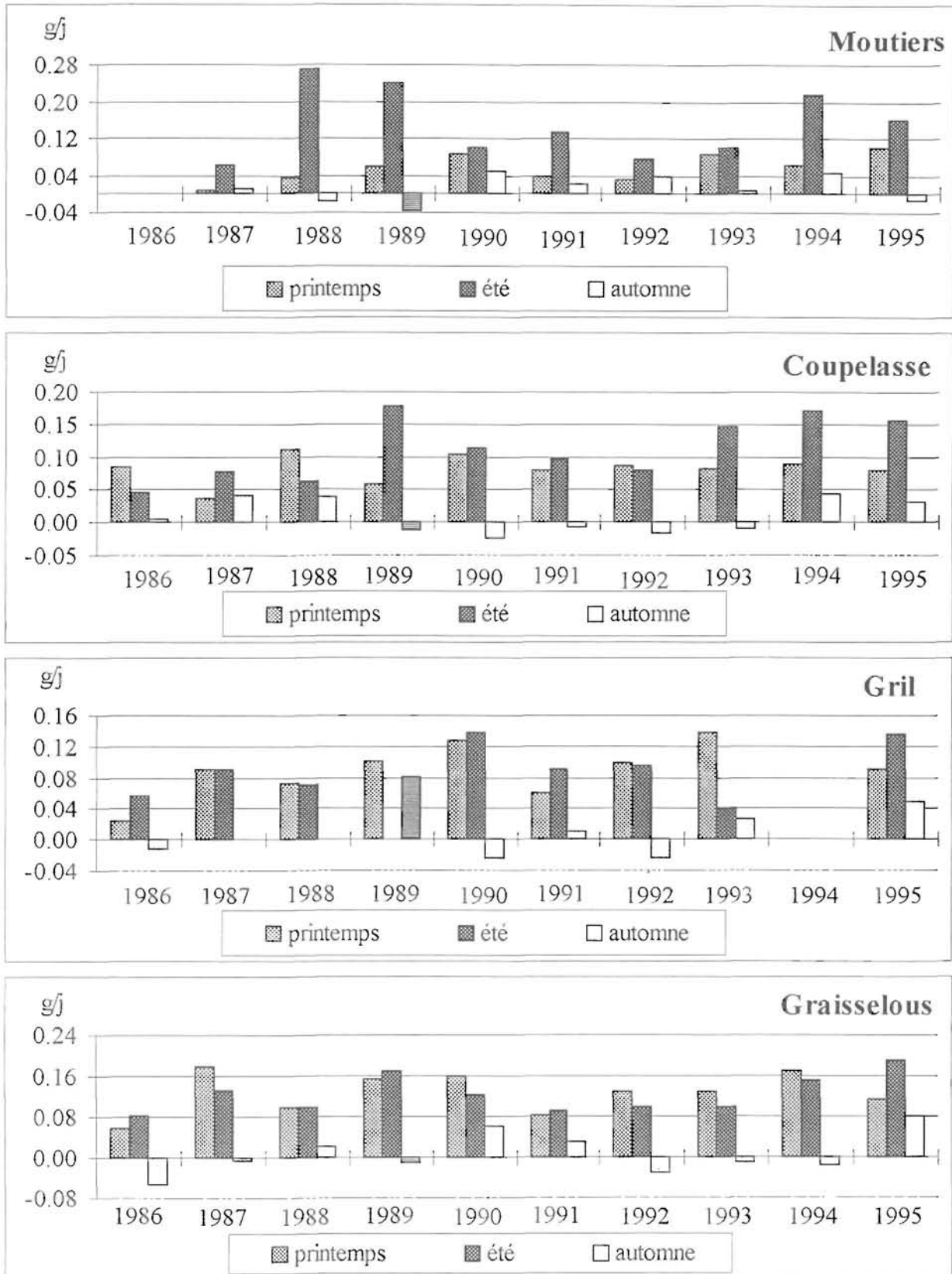


Figure 26: Evolution saisonnière de 1986 à 1995, du gain de poids total individuel, exprimé en gain quotidien, des huîtres élevées en poche dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf.

(Peterson & Howarth, 1987; Sullivan & Moncreiff, 1994; Barillé-Boyer, 1996) et peut constituer jusqu'à plus d'un tiers de la production primaire d'un écosystème estuarien (Sullivan & Moncreiff, 1988; De Jonge & Van Beukesom, 1992). Cette production est particulièrement importante en été, car elle ne dépend que de la température (Blanchard *et al.*, 1996) et de l'intensité lumineuse (Pinckney & Zingmark, 1993 a; Blanchard & Cariou-Le Gall, 1994). En effet, les dosages systématiques de substances nutritives dans l'eau interstitielle du sédiment ont conduit de nombreux auteurs à conclure que les éléments nutritifs n'étaient jamais limitants pour le développement du microphytobenthos. Sundback (1986) constate en baie de Laholm (sud-est Kattegat) une insuffisance en sels nutritifs dans les sédiments sableux mais pas dans les sédiments vaseux. Dans le bassin de Marennes-Oléron, les huîtres *Crassostrea gigas* consomment le microphytobenthos lorsqu'il est remis en suspension dans la colonne d'eau (Riera & Richard, 1995). Nous avons vu dans le chapitre II-4 que la remise en suspension du sédiment intertidal (et par là même du microphytobenthos) dans la baie de Bourgneuf était induite par les vents d'ouest qui sont dominants en période estivale (Annexe 2).

Ainsi on peut penser que la croissance printanière des huîtres dépend en majeure partie de l'efflorescence phytoplanctonique tandis que la croissance estivale est due à la remise en suspension du microphytobenthos. Cette hypothèse permet de comprendre pourquoi les croissances estivales sont beaucoup plus importantes dans les secteurs nord. En effet, le microphytobenthos des sédiments vaseux est beaucoup plus productif que celui des sédiments sableux (Pinckney & Zingmark, 1993 b) et l'hydrodynamisme est plus important au nord qu'au sud de la baie de Bourgneuf.

Dans l'optique d'une étude de la capacité trophique de la baie de Bourgneuf, permettant de savoir quel stock de mollusques la baie peut accueillir tout en maintenant un bon rendement, il serait nécessaire d'estimer la quantité de microphytobenthos disponible pour les huîtres.

IV-2 Croissance individuelle en poche

Les croissances estimées à partir du poids total des poches ne donnent qu'une approximation en raison du poids des salissures (macroalgues, sédiment, balanes, naissain de moules ou d'huîtres) qui peuvent s'incruster sur la poche ou sur les coquilles. Un protocole particulier est mis au point pour estimer la réelle croissance des huîtres cultivées en poche.

IV-2-1 Protocole

Dans chacun des quatre sites étudiés, 2 poches ostréicoles sont mises en place au mois de mars au milieu des poches de professionnels. Les caractéristiques des lots initiaux sont les mêmes que celles pour l'étude de la production biologique (chapitre précédent).

10 à 30 huîtres, selon les années, sont prélevées mensuellement de 1986 à 1990 puis en novembre uniquement de 1991 à 1995, et ramenées au laboratoire pour analyse. Les huîtres de la seconde poche servent à compléter la première poche de manière à maintenir une densité de 200 huîtres par poche. Les huîtres prélevées sont nettoyées puis pesées (poids total). Les paramètres biométriques (longueur, largeur et épaisseur) sont mesurés sur chaque individu. La chair d'huître est détachée, congelée pendant 24 h puis séchée au lyophilisateur avant d'être pesée (poids de chair sèche). La coquille est séchée à température ambiante puis pesée (poids de coquille).

Les poches des Moutiers en 1986 et celles du Gril en 1994 ont été perdues. Seules les croissances sur le site du Gril sont étudiées en 1988 et 1989. Les caractéristiques du lot initial en 1991 ont été égarées.

IV-2-2 Résultats

IV-2-2-1 Poids total

Les poids totaux individuels mesurés en mars 1986 à 1988 présentent une importante variabilité intersite (Fig. 27 a) car les huîtres sont issues de poches tirées au hasard dans chacun des sites ostréicoles. Comme le nombre d'huîtres par poche est maintenu à 200, les densités par poche sont inférieures aux densités des poches utilisées pour l'analyse de la production biologique (sauf pour le secteur du Gril). Les croissances individuelles sont beaucoup plus importantes que celles calculées d'après la production biologique (sauf pour le secteur du Gril). Ceci confirme les problèmes de surcharge des poches ostréicoles selon la pratique des professionnels.

De 1988 à 1995, les lots initiaux et les charges par poche étant identiques dans les deux types d'expériences, les croissances calculées à partir du poids total des poches sont égales ou légèrement supérieures à celles mesurées directement sur les individus car on prend en compte plus ou moins de salissures dans le premier cas.

Les gains de poids totaux de 1990 à 1995 (lots initiaux identiques) présentent des variations interannuelles plus importantes que les variations intersites. Cependant il se dégage une nette hiérarchisation spatiale avec des gains de poids totaux plus importants au sud

(Graisselous) et plus faibles au nord (les Moutiers). Les deux sites intermédiaires du Gril et de la Coupelasse ont des croissances similaires. Les huîtres de 30 à 35 g, mises en poche en mars, ont un gain de poids de 13 à 27 g selon les années dans le site le moins productif (les Moutiers) et de 17 à 31 g selon les années dans le site le plus productif de la baie (Graisselous) (Fig. 27 b).

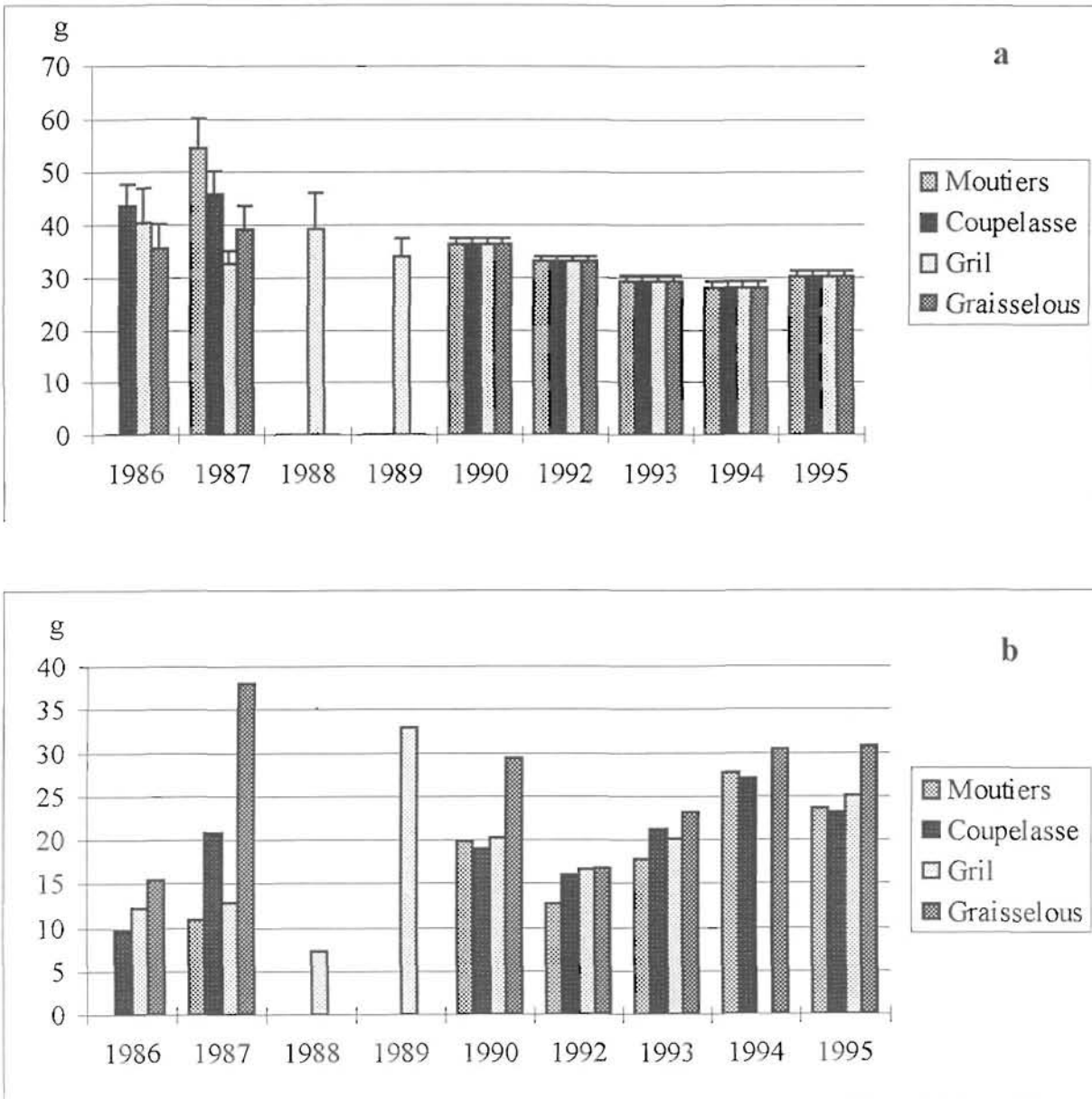


Figure 27: Evolution annuelle de 1986 à 1995 du poids total individuel des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) poids individuel à la mise à l'eau en mars, b) gain de poids entre mars et novembre.

Ce gradient nord-sud des performances de croissance en poids total des huîtres cultivées en poche a déjà été observé en 1987 (Haure & Baud, 1990) et en 1990 (Haure & Baud, 1995). Ces auteurs attribuent ce résultat aux fortes charges sestoniques du secteur nord (150 mg/l en moyenne) qui ne permettraient pas à l'huître d'utiliser pleinement l'importante richesse nutritive pourtant présente dans ce secteur. En effet, de trop fortes charges sestoniques peuvent entraîner un jeûne forcé car l'animal ferme ses valves pour empêcher le colmatage des branchies (Deslous-Paoli, 1980). Plus récemment, des études ont montré que plus la charge sestonique augmente, et moins l'huître se montre efficace pour retenir les particules de petites tailles: à faible charge (1,45 mg/l) la taille minimale des particules retenues à 100 % est de 3 à 4 μm ; à forte charge (66 mg/l) elle est de 12 μm (Barillé *et al.*, 1993). Ainsi une partie des cellules algales (les plus petites) n'est pas retenue par l'huître. Or la capacité trophique d'un bassin est généralement estimée par la quantité de chlorophylle des microalgues retenues sur un filtre Whatmann GFC d'une porosité de 1,2 μm . Il est donc nécessaire d'analyser la structure en classe de taille des microalgues de la baie afin de connaître la quantité de nourriture réellement utilisable pour les huîtres dans les secteurs turbides. De plus, dans les milieux à forte charge sestonique, l'huître dépense de l'énergie à rejeter avant l'ingestion une partie du matériel retenu sous forme de boudin enrobés de mucus (pseudofeces). Enfin, dans les milieux turbides, les particules organiques qui sont ingérées, sont diluées par les particules inorganiques, diminuant ainsi l'efficacité d'absorption chez *Crassostrea gigas* (Barillé *et al.*, 1997).

Barillé *et al.* (1997) ont conçu un modèle énergétique de l'huître *Crassostrea gigas* pour les milieux estuariens turbides tels que Marennes-Oléron. L'application d'un tel modèle sur les huîtres de la baie de Bourgneuf permettrait d'estimer un bilan énergétique individuel en prenant en compte tous les processus physiologiques complexes afin de comprendre dans quelle mesure la remise en suspension du sédiment (effet négatif) liée à celle du microphytobenthos (effet positif) intervient sur la croissance des huîtres.

IV-2-2-2 Poids de coquille

La croissance des coquilles d'huîtres dans les différents sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf nous renseigne sur l'apparence et la qualité du produit commercialisable. Principal constituant de l'huître, l'évolution de la croissance coquillière suit celle des poids totaux (Fig. 28). Au mois de novembre, les coquilles représentent 60 % du poids total des huîtres (65 % en

1995) (Fig. 28 b). Les variations interannuelles sont toujours plus importantes que les variations intersites. Les gains en coquille dans les sites sud et en particulier Graisselous, sont nettement supérieurs à ceux des autres sites sauf en 1992 et 1993 où les coquilles de la Coupelasse sont les plus lourdes (Fig. 28 c).

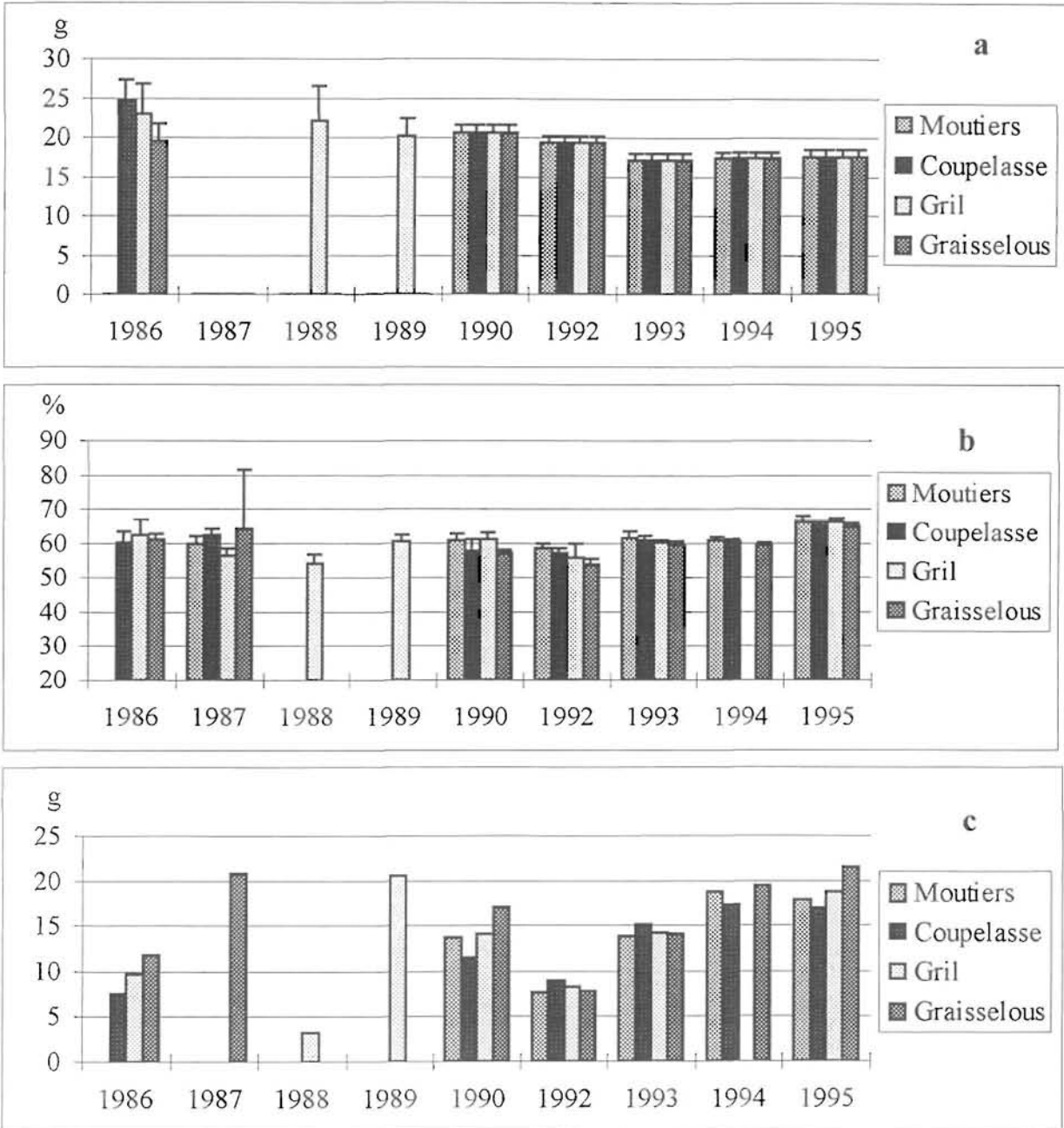


Figure 28: Evolution annuelle de 1986 à 1995 du poids de coquille des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) poids de coquille en mars, b) % du poids de coquille par rapport au poids total en novembre, c) gain du poids de coquille entre mars et novembre.

Du nord au sud apparaît un gradient très net de croissance en longueur des coquilles (Fig. 29 a). Les coquilles sont plus rondes dans les sites intermédiaires de la Coupelasse et du Gril (Fig. 29 b) et plus épaisses dans ce dernier site (Fig. 29 c). Ces tendances sont confirmées par l'indice Imaï-Sakaï (qui exprime l'épaisseur de la coquille en fonction de la moyenne des deux autres dimensions): les huîtres sont plus "coffrées" (valeurs hautes de l'indice) aux Moutiers et au Gril, tandis qu'elles sont plus aplaties à Graisselous (Fig. 29 d). Ces différences morphologiques selon les sites sont expliquées en partie par l'hydrodynamisme de la baie. Dans les sites nord, l'important clapot, généré par les houles d'ouest, érode les huîtres qui se heurtent les unes aux autres dans les poches. Dans les sites sud, plus calmes, la croissance coquillière n'est pas perturbée et produit des huîtres plus longues et aplaties.

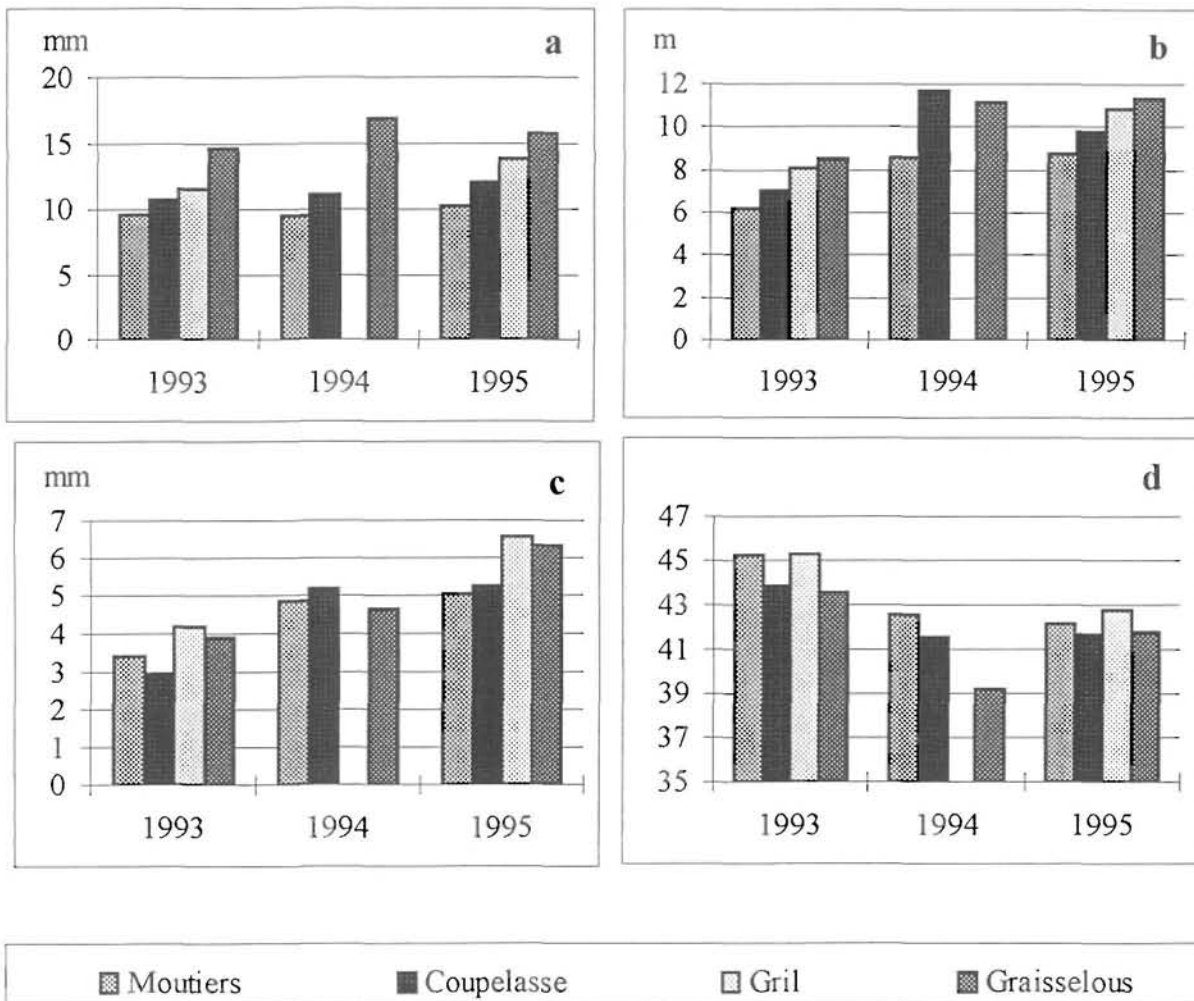


Figure 29: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la morphologie des coquilles des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) longueur, b) largeur, c) épaisseur, d) indice Imai-Sakai (épaisseur / ((longueur + largeur)/ 2).

IV-2-2-3 Poids de chair sèche

L'évolution du poids de chair détermine la qualité des huîtres qui seront vendues aux consommateurs. L'estimation du poids de chair fraîche est une mesure peu fiable car elle dépend du temps d'égouttement et de la température ambiante, c'est pourquoi nous préférons étudier le poids de chair sèche.

Les poids de chair sèche des individus (Fig. 30 a) indique que les huîtres mises à l'eau en mars 1992 sont en meilleure condition que les huîtres des autres années à la même période, pourtant les gains de poids mesurés en novembre 1992 sont très faibles (< 0,1 g) (Fig. 30 b).

Deux hypothèses sont proposées:

- les conditions nutritionnelles sont plus pauvres en 1992 que pour les autres années.
- les conditions nutritionnelles sont sensiblement identiques aux autres années, mais les

coûts métaboliques qui dépendent du poids de chair de l'animal (Bougrier *et al.*, 1995) sont beaucoup plus importants que ceux d'individus plus petits. Lorsque la nourriture est insuffisante, les gros individus ont tendance à maigrir (car le bilan énergétique est négatif) tandis que les petits individus engraisent. Quand les deux lots atteignent le même poids de chair, les bilans consommation-coûts métaboliques deviennent identiques. Ce processus a déjà été observé sur deux populations de moules (*Mytilus edulis*) initialement âgées de 3 et 15 mois et mises en culture sur les filières du Pertuis Breton pendant un an (Barillé-Boyer, 1996). Cela pourrait expliquer pourquoi les poids de chair sont sensiblement les mêmes au mois de novembre (Fig. 30 c) quel que soit leur poids de départ.

Les poids de coquille en novembre 1992 étant également plus faibles que les autres années, la première hypothèse semble la plus probable. Les variations annuelles des conditions nutritionnelles du milieu sont donc déterminantes sur la croissance et la qualité des huîtres de la baie de Bourgneuf.

Dans les meilleures années (e.g. 1990), les gains de poids de chair sèche entre mars et novembre peuvent atteindre 0,45 g pour les sites les moins productifs et 0,8 g pour les sites les plus productifs (Fig. 30 b). Pourtant la croissance printanière a permis une augmentation de poids en chair sèche de près de 1,3 g en 1990 (Haure & Baud, 1995) mais l'essentiel de ce gain est perdu avec la ponte qui a lieu en juin ou juillet pour les sites nord et en août pour les sites sud (Haure & Baud, 1990, 1995). Ainsi des huîtres qui avaient des indices de condition (Lawrence et Scott) supérieurs à 90 au mois de mai-juin (Haure & Baud, 1995) se retrouvent juste avant la période de commercialisation avec des indices de 45 en 1990 qui est une année de très bonne croissance.

L'évolution des composés biochimiques de l'huître creuse élevée en baie de Bourgneuf se fait selon un cycle saisonnier classique: la croissance printanière se caractérise par une accumulation de glucides qui se transformeront en lipides (constituant essentiel des gamètes) pendant le mois précédant la ponte tandis que les protéines servent de substrat énergétique (Haure & Baud, 1995). La croissance estivale postponte se manifeste par une accumulation de glucides en tant que tissu de réserve qui se résorbe petit à petit pendant l'automne (Haure & Baud, 1995).

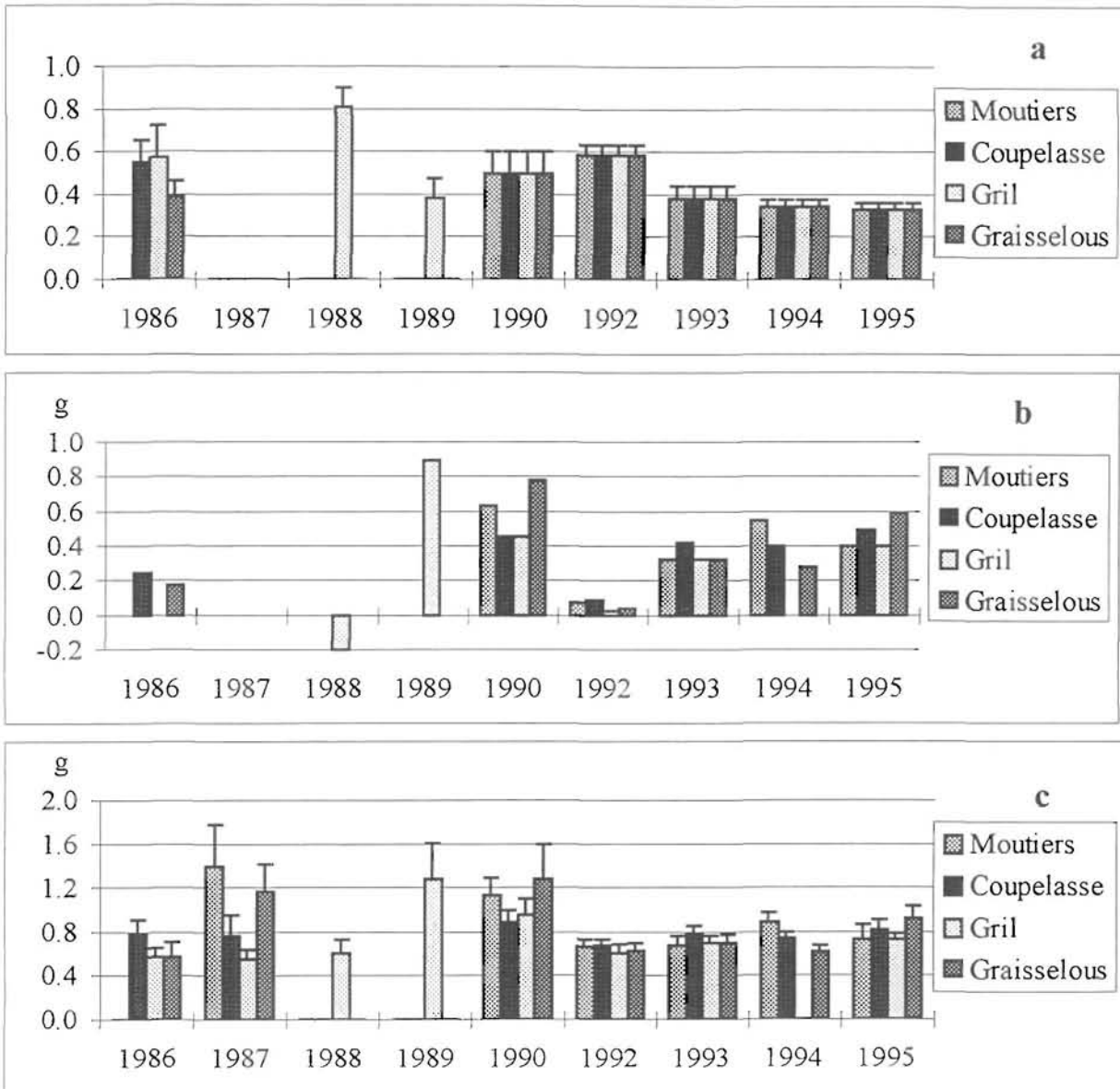


Figure 30: Evolution annuelle de 1986 à 1995 du poids de chair sèche des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) poids de chair sèche en mars, b) gain de poids de chair sèche entre mars et novembre, c) poids de chair sèche en novembre.

Dans la mesure où 99 % du naissain de la baie de Bourgneuf provient de Fouras, la ponte des huîtres ne peut être perçue que comme une perte inutile de productivité. Un procédé qui permet de rendre le naissain de *Crassostrea gigas* triploïde (les chromosomes sont sous forme de triplés 3N alors qu'ils sont naturellement sous forme de doublons 2N), a été mis au point. Ces triploïdes sont stériles et consacrent donc toute leur énergie à la croissance uniquement. Dans la baie de Bourgneuf, les huîtres 3N ont des taux de survie supérieurs de 20 % à ceux des huîtres 2N, et un gain en poids total individuel supérieur de 40 % à celui des huîtres 2N, à la fin de la deuxième année, ce qui fait que 100 % des huîtres 3N sont

commercialisables dès la fin de la seconde année (Etude SMIDAP, Glize, 1997). La culture d'huîtres triploïdes constituerait une alternative pour améliorer les rendements ostréicoles et la qualité des huîtres de la baie de Bourgneuf.

IV-2-2-4 Indice de condition

Les indices de condition (Tab. 9) sont des estimateurs chiffrés de la qualité d'une huître qui permettent de la classer dans les catégories "fines" ou "spéciale" déterminant ainsi son prix à la commercialisation. L'indice de condition est censé représenter le taux de remplissage d'une huître.

<i>catégories</i>	<i>Afnor</i>	<i>Lawrence & Scott</i>
mode de calcul	$\frac{\text{poids de chair fraîche}}{\text{poids total}}$	$\frac{\text{poids de chair sèche} * 10^3}{\text{poids total} - \text{poids de coquille}}$
non classées	< 6,5	
fines	6,5 - 9	
spéciales	> 9	

Tableau 9: Indices de conditions. Mode de calcul et définition des catégories commerciales des huîtres.

Il existe différents indices dont le plus courant est l'indice Afnor (Fig. 31 a) car il est facile d'application et rapide. Cependant cet indice est peu fiable: en plus des réserves émises précédemment sur la mesure de la chair fraîche, le problème majeur vient de l'estimation du poids total. Deux huîtres peuvent en effet avoir le même volume intervalvaire et le même poids de chair mais des épaisseurs de coquille différentes en fonction de l'hydrodynamisme des sites dans lesquels elles sont cultivées. De plus, le poids total d'une huître comprend une part importante d'eau contenu dans l'espace intervalvaire qui peut être rejetée ou non avant la pesée. C'est pourquoi l'indice Afnor devrait être abandonné au profit d'un indice plus fiable basé sur le poids de chair sèche et qui ne tient pas compte de l'eau intervalvaire tel que l'indice de Lawrence et Scott (Fig. 31 b). Une étude comparative des différents indices de condition de *Crassostrea gigas* montre que cet indice présente la plus grande sensibilité et la plus faible variabilité sans être dépendant de l'âge de l'animal (Bodoy *et al.*, 1986). L'indice Afnor ne permet pas de mettre en évidence les variations annuelles observées sur les différents constituants de l'huître (Fig. 31 a), tandis que l'indice de Lawrence et Scott confirme la meilleure qualité des huîtres en 1990 et 1995 (Fig. 31 b) conformément à nos précédentes analyses.

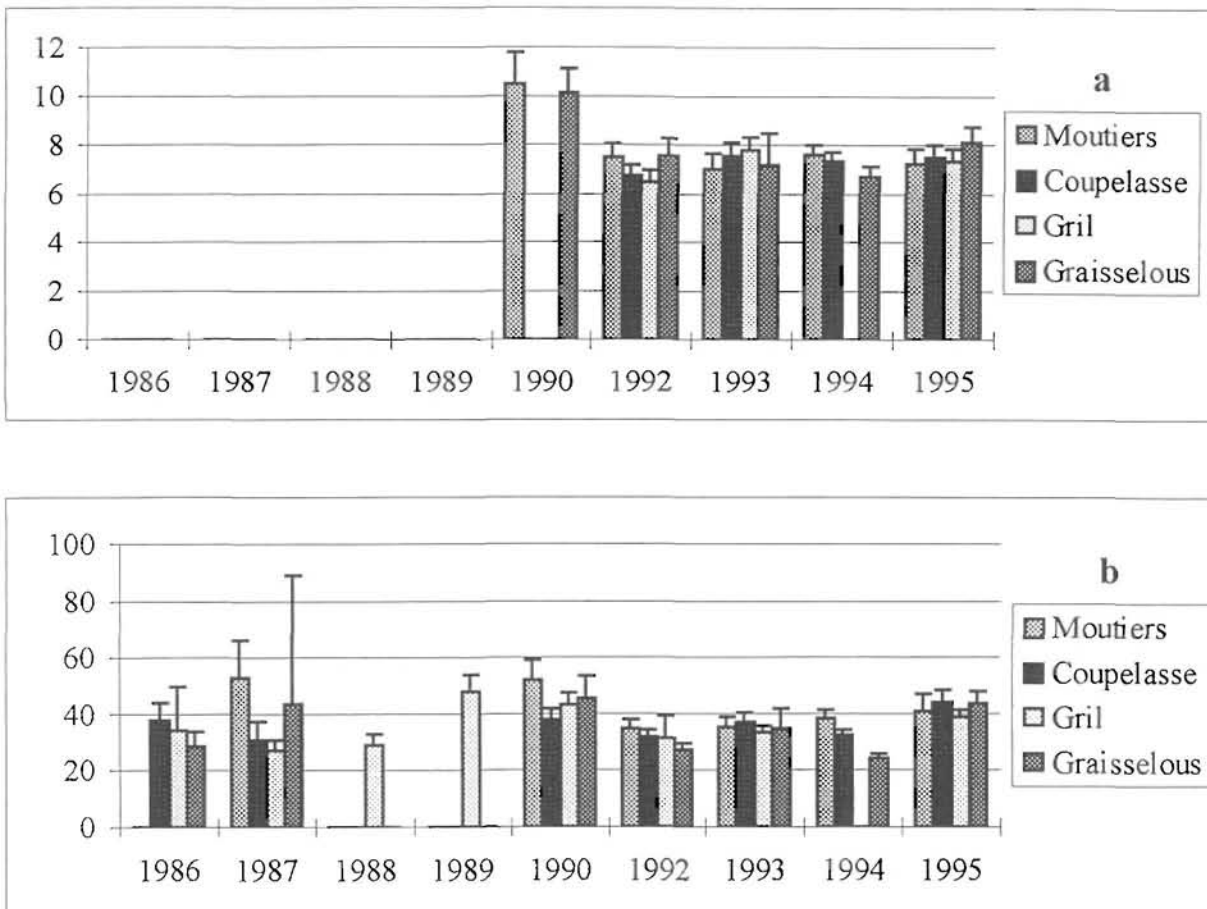


Figure 31: Evolution annuelle de 1986 à 1995 des indices de condition en novembre des huîtres élevées en poche sur les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) indice Afnor, b) indice de Lawrence et Scott.

Les variations interannuelles des indices de condition sont supérieures aux variations intersites et il ne se dégage pas de hiérarchisation nette entre les sites car les performances en gain de poids de chair sèche observées dans le site de Graisselous s'accompagnent d'une augmentation conjointe du poids de coquille.

IV-3 Comparaison de la croissance des huîtres en baie de Bourgneuf avec d'autres bassins conchylicoles français

Depuis 1993, tous les laboratoires IFREMER, chargés d'étudier les bassins conchylicoles français ont entrepris des suivis de croissance des huîtres *Crassostrea gigas* selon le même protocole et la même gamme de poids que celle utilisée dans la baie de Bourgneuf. Le réseau REMORA (Réseau Mollusques du département des Ressources Aquacoles) permet de comparer les performances de croissance observées dans les bassins de Thau, Arcachon, Marennes-Oléron, Ré, Bourgneuf, Bretagne-sud, Bretagne-nord et Normandie. Dans le chapitre qui suit, les résultats de Thau et de Quiberon ne sont pas pris en compte car les méthodes culturales ne sont pas identiques (culture en suspendue ou en eau profonde).

Les croissances des huîtres de 18 mois en baie de Bourgneuf figurent parmi les plus mauvaises avec celles du bassin de Marennes-Oléron tant au niveau de la longueur de coquille (Fig. 32 a) que du poids total (Fig. 32 b) ou du poids de chair sèche (Fig. 32 c). Les cultures autour de l'île de Ré présentent des performances légèrement plus intéressantes, notamment dans le Fiers d'Ars. Les huîtres de Normandie, Bretagne nord et sud montrent des poids de chair sèche au mois de novembre relativement semblables (de l'ordre de 1,5 g) (Fig. 32 c) qui sont très satisfaisants. La croissance coquillière en longueur et en épaisseur est particulièrement favorisée dans le secteur de Bretagne sud, ce qui explique les valeurs moyennes des indices de conditions (Fig. 32 d e). Les résultats du bassin d'Arcachon indiquent de fortes variabilités annuelles; les huîtres mises à l'eau en mars pourraient manquer une partie du bloom phytoplanctonique qui se produit plus tôt dans cette région. Les secteurs les plus performants, tant en croissance qu'en qualité, sont la Normandie et la Bretagne nord-sud. Cependant ces secteurs sont les plus touchés par le polydora alors que les huîtres de la baie de Bourgneuf présentent un taux d'infestation généralement inférieur ou égal à la moyenne nationale (1993 : 11 %; 1994 : 12 %; 1995 : 20 %).

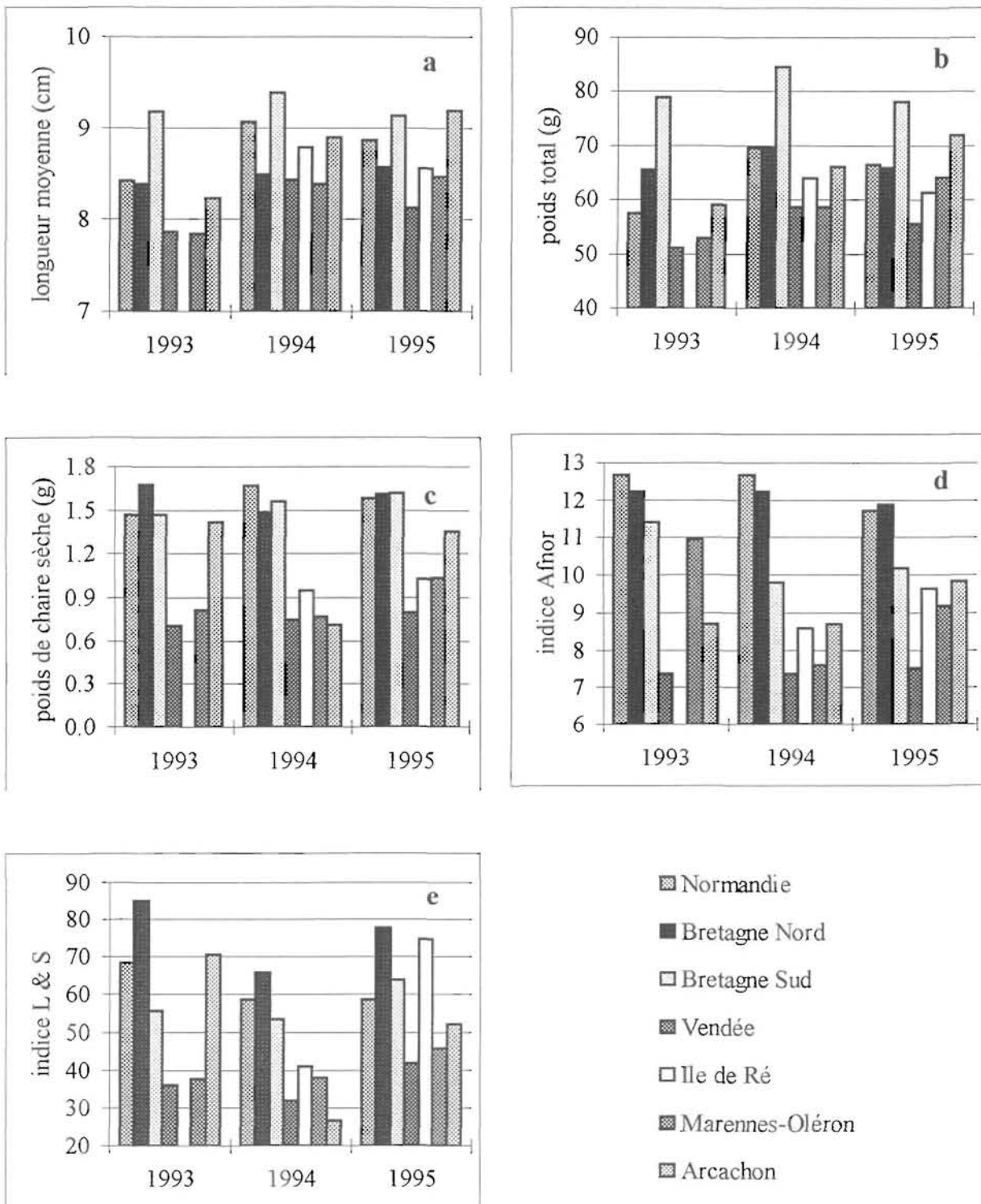


Figure 32: Résultats du réseau REMORA, croissance des huîtres cultivées en poche dans différents bassins conchylicoles français. Mesures en novembre de a) longueur de la coquille, b) poids total, c) poids de chair sèche, d) indice Afnor, e) indice de Lawrence et Scott.

La qualité des huîtres en novembre est différente selon l'estimation retenue, indice Afnor ou l'indice de Lawrence et Scott (Fig. 32 d e). Tout en rappelant les réserves émises sur la fiabilité de l'indice Afnor, l'emploi de cet indice dans une comparaison entre les différents bassins conchylicoles nous apparaît particulièrement inadéquate en raison des grandes variations de l'hydrodynamisme de chacun des bassins. La qualité, estimée par l'indice de Lawrence et Scott, des huîtres qui sont cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron et dans la Baie de Bourgneuf est sensiblement identique pendant les trois années analysées. Or, Héral *et al.* (1986) montrent une surexploitation actuelle du bassin de Marennes-Oléron. Les performances de croissance et de qualité, analogues dans ces deux bassins, semblent indiquer qu'un phénomène similaire se produit dans la baie de Bourgneuf.

IV - 4 Croissance des huîtres en système expérimental

IV - 4 - 1 Protocole

En 1986, les premiers essais de croissances individuelles de 50 huîtres disposées dans une clayette en bois compartimentée n'ont pas donné de bons résultats car les vagues brassaient les huîtres non bloquées dans leur compartiment, érodant la coquille au fur et à mesure de sa formation (Haure & Baud, 1980). Un nouveau module expérimental est alors conçu en 1987 (Haure & Baud, 1980). Ce module est composé d'un cadre largement ajouré en aluminium, de la dimension d'une poche ostréicole, supportant 50, 45 ou 40 (selon les années) petites plaques galvanisées amovibles. Une huître préalablement calibrée est collée sur chaque petite plaque avec de la résine. Les pesées individuelles sont réalisées en mars et en novembre. Cette technique est utilisée pour estimer la croissance optimale des huîtres dans chaque site. En effet, ainsi fixée, la coquille ne peut plus être érodée à cause du brassage généré par l'hydrodynamisme qui est différent selon les sites. L'action des facteurs physiques étant éliminée, les différences de croissance observées entre les sites ne peuvent être induites que par les facteurs hydrobiologiques propres à chaque site.

Dans chacun des cinq sites ostréicoles choisis, un module est disposé parmi les poches expérimentales. En plus des quatre sites déjà prédéfinis dans la baie de Bourgneuf (les Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous), les croissances dans le site de Paillard, situé au sud de l'île de Noirmoutier et alimenté par les eaux océaniques, sont analysées à titre comparatif.

Les lots initiaux sont identiques dans tous les sites étudiés sauf en 1987 où les huîtres mises en place à Paillard sont plus grosses de 5 g (Fig. 33). Depuis 1989, ces lots initiaux sont identiques à ceux utilisés pour les croissances individuelles en poche. De 1987 à 1992, ce sont des huîtres de 18 mois captées à Fouras sur des collecteurs en plastique et prégressies aux Moutiers qui sont calibrées entre 29 et 37 g selon les années (Fig. 33). Depuis 1993, les lots initiaux sont des huîtres captées à Arcachon et prégressies dans le golfe du Morbihan qui sont calibrées entre 30 et 35 g.

Les mesures du lot initial de 1991 ont été égarées. En 1987 et 1992 les poids de coquille et de chair sèche n'ont pas été effectués. En 1990 ces mesures n'ont été faites que pour les sites du Gril et de la Coupelasse sur les huîtres élevées en module expérimental.

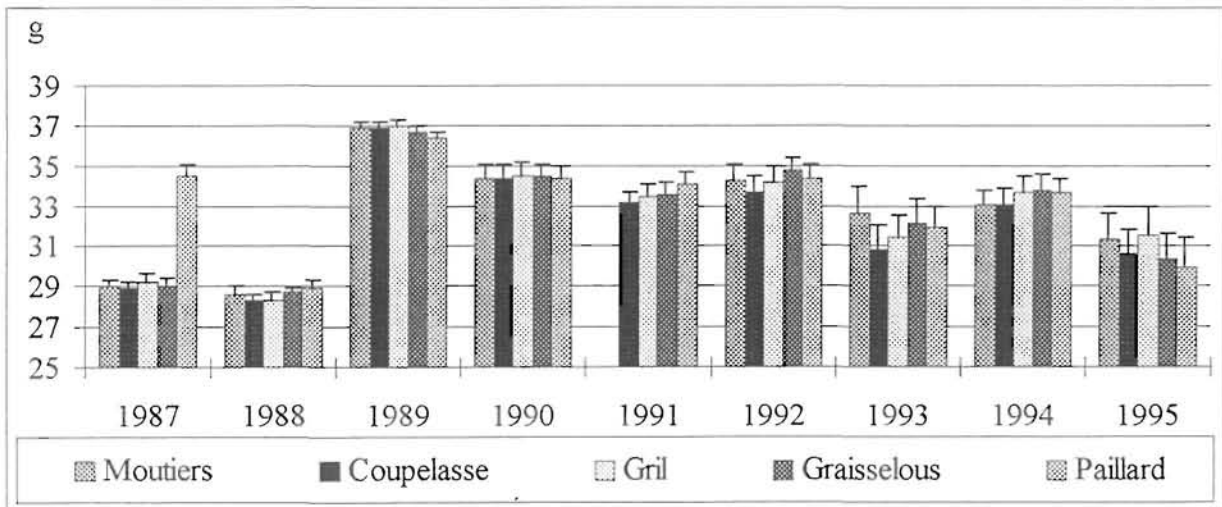


Figure 33: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la moyenne des poids individuels des huîtres élevées en module expérimental (plaque) au mois de mars.

IV - 4 - 2 Résultats

IV-4-2-1 Comparaisons intersite et interannuelle

De 1987 à 1989, les gains individuels de poids total des huîtres élevées dans le site de Paillard sont beaucoup plus importants que ceux relevés dans la baie, puisqu'ils atteignent plus de 50 g tandis que les meilleurs sites de la baie ne dépassent pas 35 g (Fig. 34). De 1990 à 1994, les performances de croissances du site de Paillard diminuent et se retrouvent légèrement supérieures ou identiques aux performances des sites les plus productifs de la baie. En 1995 ces croissances sont proches du niveau moyen de l'ensemble de la baie (Fig. 34).

Le site de Paillard, dont la superficie concédée en juin 1987 est de 23,6 ha, n'a pas évolué depuis (cf. Affaires Maritimes du quartier de Noirmoutier). En revanche, le site de

Chabot, mitoyen du parc de Paillard, est créé en juin 1988 avec une superficie concédée de 1,5 ha. Puis il subit une première augmentation en mai 1989 de 2,4 ha suivie d'une seconde augmentation en août 1995 qui porte sa surface totale à 4,9 ha (cf. Affaires Maritimes du quartier de Noirmoutier). La concordance des dates entre l'augmentation des surfaces concédées à Chabot et les différentes phases de croissance observées à Paillard nous incite à penser qu'il existe un problème de surcharge depuis 1990 dans le secteur sud de l'île de Noirmoutier. Cela confirme également la surexploitation des différents sites ostréicoles situés dans la baie de Bourgneuf à l'échelle même du site. Dans ce cas, une diminution des stocks mis en culture dans la baie permettrait d'avoir des croissances plus rapides, et donc, un coût en main d'oeuvre plus faible pour un même stock commercialisable en fin d'année.

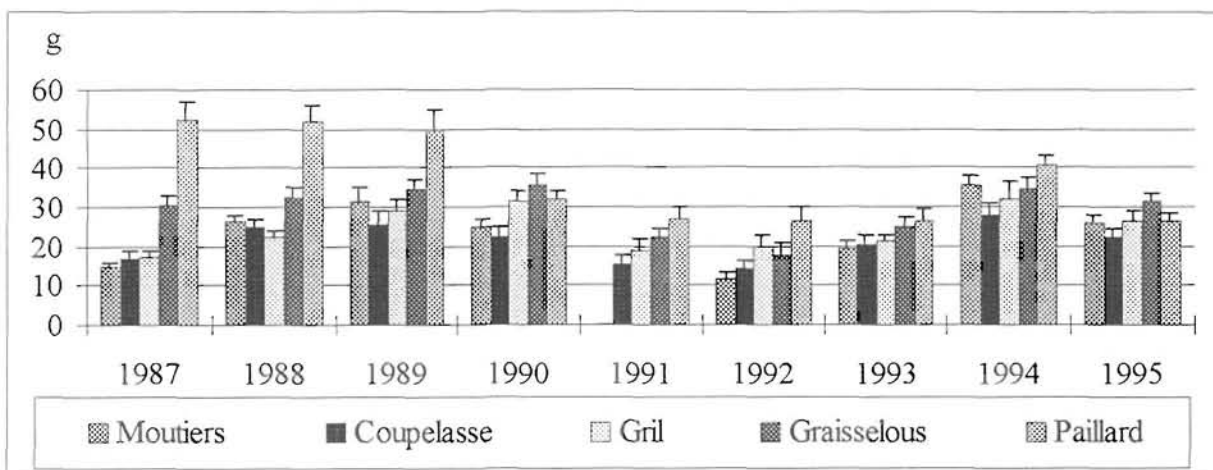


Figure 34: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la moyenne des gains en poids individuels des huîtres élevées en module expérimental (plaque) du mois de mars au mois de novembre.

De même que pour les croissances individuelles en poche, les croissances sur modules expérimentaux montrent des variations annuelles beaucoup plus importantes que les variations intersite au sein de la baie. Cependant, il se dégage là encore une hiérarchisation des sites en fonction de leur performance de croissance avec des sites sud (et particulièrement Graisselous) plus productifs que les sites nord, bien que l'érosion des coquilles n'intervienne plus au nord (Fig. 34). A l'intérieur de la baie, les gains en poids total individuel avoisinent les 30-35 g lors des bonnes années (1988, 1989, 1990, 1994) et autour de 20 g lors des mauvaises années, pour les sites les plus performants. Ce qui fait que les huîtres élevées en module et mises à l'eau en mars avec un poids entre 30 et 35 g atteignent toutes un minimum de 50 g en novembre.

IV-4-2-2 Comparaison croissance module et croissance poche

Les mortalités des huîtres élevées en modules sont quasiment nulles dans les quatre sites étudiés de 1987 à 1992 (Fig. 35). A partir de 1993 ces mortalités sont similaires (ou supérieures, dans le site de la Coupelasse) aux taux de mortalités observés dans les poches (Fig. 35). Or à partir de 1993, les huîtres utilisées sont prégrossies dans la baie du Morbihan jusqu'à 18 mois. On peut alors imaginer qu'un surcroît de manipulation est responsable de ces mortalités. Cependant, ces mortalités sont régulières tout au long de l'année en 1993 (Remora 93), estivales en 1994 (Remora 94) et uniquement automnales en 1995 (Remora 95). Cette hypothèse doit donc être rejetée. Le fait qu'aucune huître sur module n'ait été affectée par l'efflorescence d'algue toxique (*Gymnodinium*) au printemps 1995, reste surprenant. Ces résultats méritent une étude plus approfondie.

Les gains en poids de coquille des huîtres cultivées sur module sont toujours significativement supérieurs (de 2 à 7 g) à ceux des huîtres élevées en poche quels que soient les sites (Fig. 36). Les différences entre les deux systèmes d'élevage sont similaires dans les quatre sites étudiés alors que l'on s'attendait à des écarts beaucoup plus importants dans les sites nord où le fort hydrodynamisme est responsable de l'érosion des coquilles des huîtres élevées en poche. L'hydrodynamisme joue donc un rôle relativement peu important dans la pousse coquillière des sites nord et ce sont les facteurs hydrobiologiques propres à ces sites qui sont déterminants. La différence de croissance coquillière entre module et poche ne s'amenuise pas forcément en fonction des bonnes années (1989 et 1994). Cela signifie que quelles que soient les conditions hydrobiologiques, les fortes densités des huîtres en poche (200 individus) ont un effet négatif important sur les croissances de coquille par rapport à des densités de 50 individus pour une même surface. Ce résultat confirme les problèmes de croissance des huîtres liés à la surcharge des poches ostréicoles selon la pratique professionnelle que nous avons déjà abordés au chapitre IV-1-2.

Les huîtres, élevées en module expérimental, présentent des gains en poids de chair sèche de 50 à 100 % supérieurs à ceux obtenus avec les poches quels que soient les sites (Fig. 37). C'est au niveau de la qualité des huîtres en novembre que l'effet de la densité ponctuelle se fait le plus ressentir. Les huîtres maintenues à 250 individus par poche dans le site du Gril en 1988 (Fig. 23 a) se sont amaigries au cours de l'année, tandis que les huîtres qui sont à une densité de 50 individus gagnent 0,6 g en novembre (Fig. 37 c).

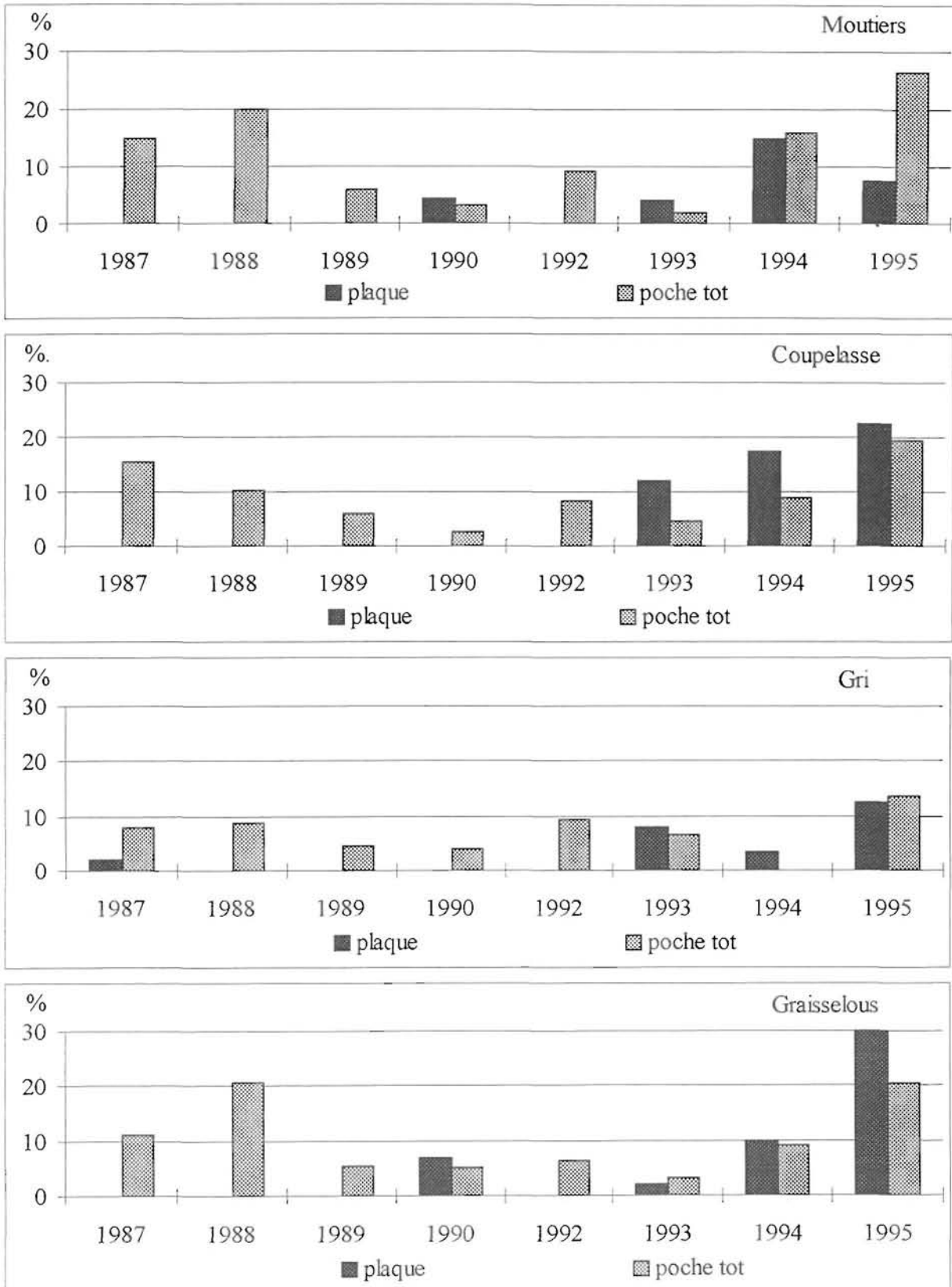


Figure 35: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la mortalité (% du nombre initial) des huîtres élevées en module expérimental (plaque) et en poche de mars à novembre.

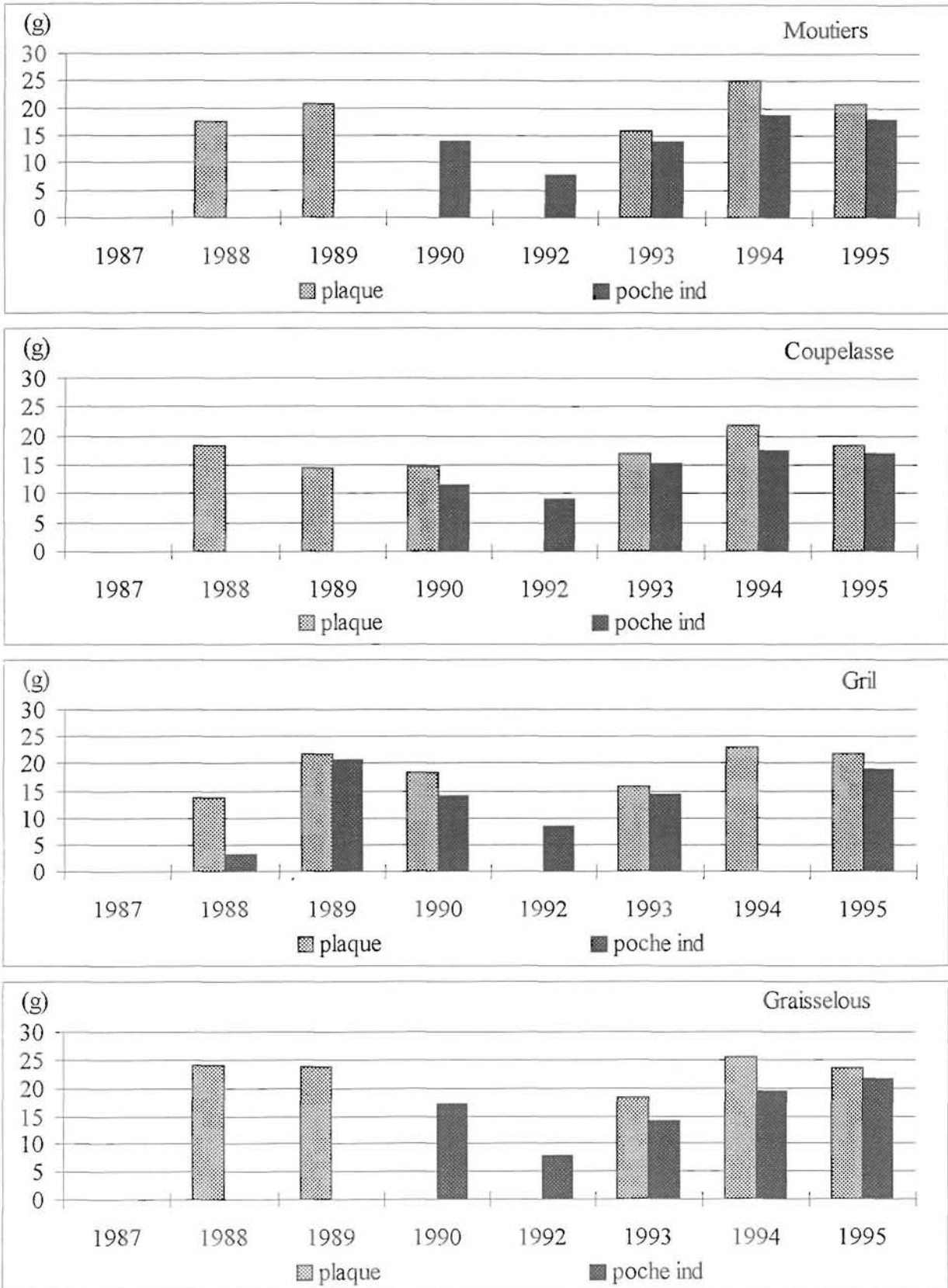


Figure 36: Evolution annuelle de 1986 à 1995 du gain en poids de coquille, de mars à novembre, des huîtres élevées en module expérimental (plaque) et en poche.

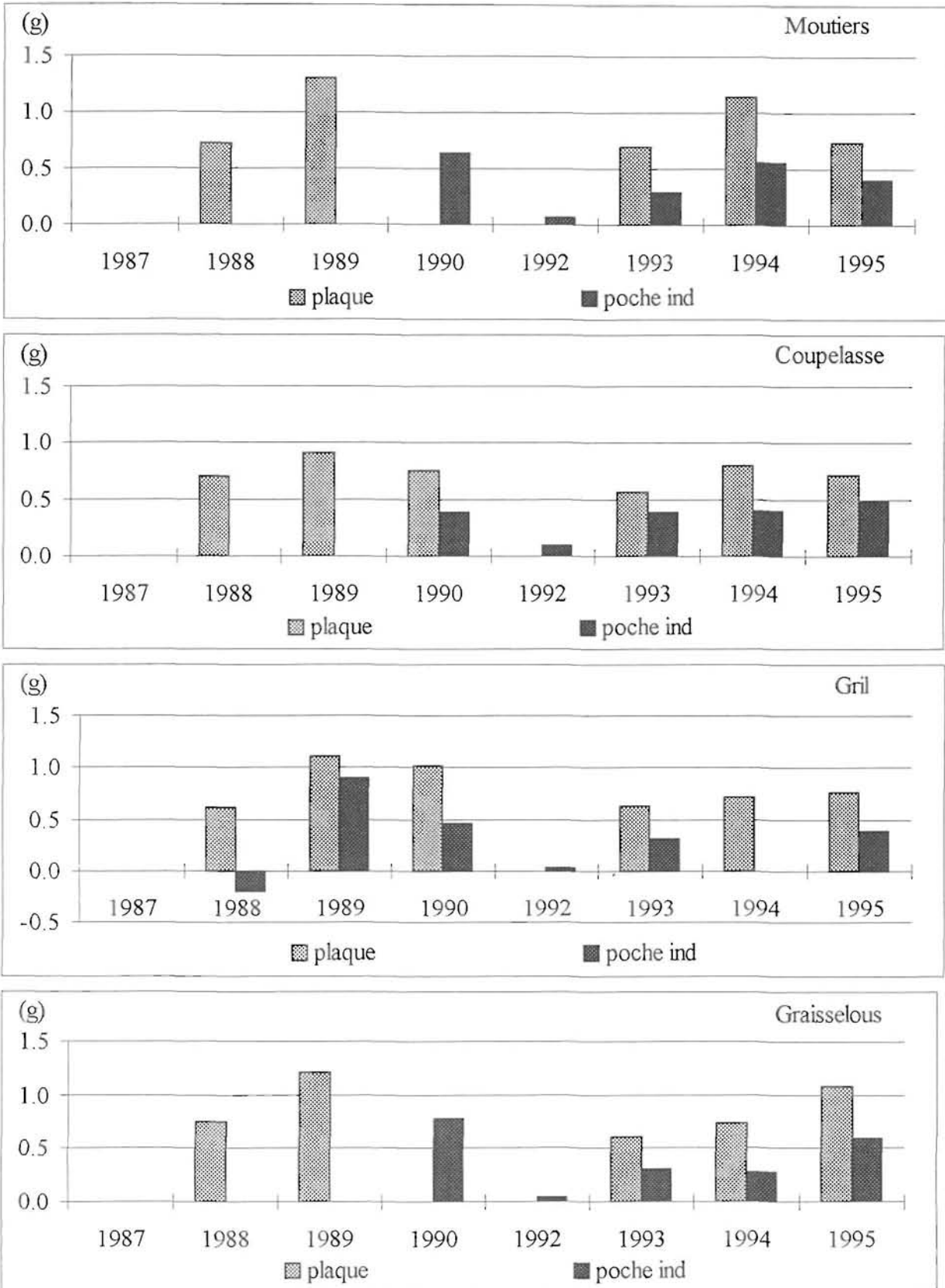


Figure 37: Evolution annuelle de 1986 à 1995 du gain en poids de chair sèche, de mars à novembre, des huîtres élevées en module expérimental (plaque) et en poche.

Lorsque les densités sont faibles (module), la qualité des huîtres en est améliorée et l'indice de condition (Lawrence & Scott) est toujours supérieur à 42 avec des maxima proches de 70 (Fig. 38) tandis que les mêmes huîtres élevées en poche ne dépassent jamais 53 avec des minima de 22 (Fig. 31). Bien que 1994 soit une très bonne année pour la croissance en coquille et en chair, les indices de condition sont au plus bas, car proportionnellement, le gain en poids de coquille est supérieur à celui de la chair. Les huîtres du site des Moutiers présentent souvent les meilleurs indices de la baie (Fig. 38), car c'est le site le moins favorable à la croissance coquillière.

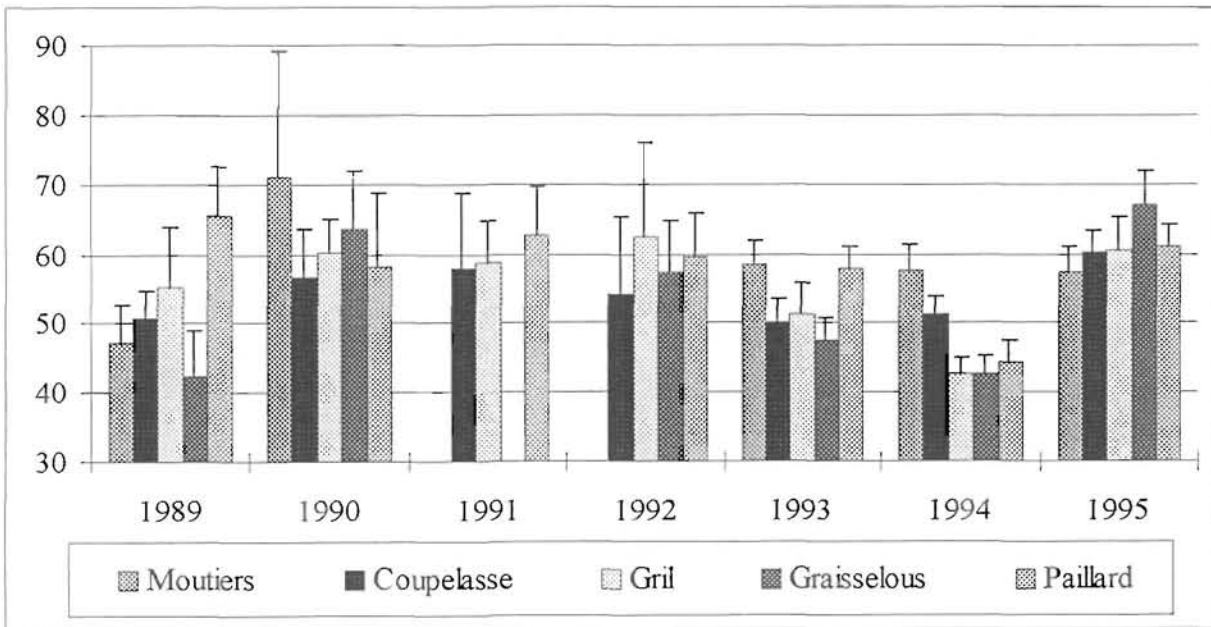


Figure 38: Evolution annuelle de 1986 à 1995 de la moyenne des indices de condition (Lawrence et Scott) au mois de novembre, des huîtres élevées en module expérimental (plaque) dans les différents sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf et à Paillard.

Croissance des huîtres en baie de Bourgneuf

A retenir

Un suivi de croissance des huîtres *Crassostrea gigas* est effectué sur chacun des quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf (Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous) de 1986 à nos jours. La croissance est étudiée sur des huîtres de 18 mois, de mars à novembre, de manière à suivre l'évolution qualitative de ces individus qui devraient être commercialisés en fin d'année. Cette période finale du cycle d'élevage, réputée délicate en baie de Bourgneuf, est importante pour l'économie de la baie, car une grande partie de la production annuelle est vendue pendant la période de Noël.

Dans chacun des quatre secteurs ostréicoles définis, un parc test, découvrant à marée basse pour un coefficient de marée supérieur à 70, est choisi en accord avec le propriétaire. Trois approches de la croissance des huîtres sont menées simultanément:

- une étude de croissance selon la technique professionnelle de culture en poche ostréicole. Le rendement biologique est estimé par le gain en poids, entre mars et novembre, de la totalité des huîtres vivantes de la poche. Cette production peut être nulle si les croissances ne sont pas suffisantes pour compenser les pertes par mortalité.

- un suivi individuel est effectué sur quelques huîtres prises au hasard dans une autre poche (200 individus/poche). Cette technique permet de prendre en compte les variations de croissances liées à la pratique ostréicole et reflète les différences intersites observées par les professionnels.

- une approche plus expérimentale consiste à étudier la croissance d'huîtres fixées sur une plaque disposées au milieu des poches ostréicoles.

Ce système permet d'estimer une croissance optimale liée aux caractéristiques de chaque secteur étant donné que la densité par plaque est réduite et que les huîtres ne peuvent pas s'éroder.

De 1986 à 1988, les poches étudiées sont tirées au hasard parmi les poches des professionnels. On observe une très grande hétérogénéité de pratique aussi bien intrasite que intersite: en mars, les poches sont chargées de 5 à 15 kg à raison de 190 à 300 huîtres par poche. Les fortes densités (> 7 kg) entraînent des mortalités importantes (de 20 à 60 huîtres par poche) et une faible croissance : les rendements biologiques sont médiocres ($< 2,5$ kg en moyenne). Ces résultats indiquent un problème de surcharge à l'échelle même de la poche ostréicole. Il serait nécessaire d'estimer la charge initiale qui permet d'obtenir un rendement biologique optimal et d'homogénéiser les pratiques culturelles sur l'ensemble de la baie.

De 1989 à 1995, les lots initiaux sont communs aux quatre sites étudiés : huîtres de 18 mois, calibrées entre 30 et 35 g et réparties dans les poches à raison de 200 individus par poche. Ainsi les comparaisons intersites et interannuelles sont plus fiables. Les variations interannuelles sont beaucoup plus importantes que les variations entre les différents sites tant au niveau de la mortalité qu'au niveau des rendements biologiques. Il ne se dégage pas de hiérarchisation spatiale nette entre les sites ostréicoles. La prépondérance des variations interannuelles sur les variations intersites semble indiquer que les facteurs déterminant la mortalité ou la croissance dans la baie de Bourgneuf ne sont pas liés aux caractéristiques physiques ou hydrobiologiques propres à chaque site, mais à des facteurs qui ont une amplitude annuelle et une emprise spatiale sur l'ensemble de la baie (tels que les facteurs météorologiques).

Les mortalités (8 % du nombre initial d'huîtres) se produisent essentiellement au printemps et en été. A la sortie de l'hiver, les huîtres ont très peu ou pas de réserves.

Les mortalités printanières apparaissent lorsqu'un important réchauffement du milieu exacerbe les dépenses métaboliques des huîtres alors que l'efflorescence phytoplanctonique ne s'est pas encore produite. Les mortalités estivales surviennent lorsque les huîtres ont transformé l'essentiel de leur tissu de réserve en gamètes et que les microalgues sont insuffisantes car les sels minéraux du milieu ont été consommés. Bien que les premières mortalités de juvéniles et de naissain associées à l'herpes virus aient été recensées en 1994 dans la baie de Bourgneuf, ce virus ne semble pas affecté les huîtres adultes. Les fortes mortalités de 1995 (20 %) sont induites par l'efflorescence d'une microalgue toxique (*Gymnodinium*) qui se développe par temps calme et chaud, au large des baies et pénètre dans les sites ostréicoles avec le courant de flot. C'est pourquoi, connaissant l'hydrodynamisme de la baie, les sites nord (les Moutiers, la Coupelasse) sont les plus atteints.

Les gains de poids individuels, se produisent au printemps et en été. L'automne est une période de faible croissance, voire d'amaigrissement, ce qui explique la mauvaise qualité des huîtres en fin d'année. La croissance printanière serait due en grande partie à l'efflorescence phytoplanctonique (microalgues qui se développent dans la colonne d'eau) alors que la croissance estivale dépendrait plutôt de la remise en suspension du microphytobenthos (microalgues qui se développent en surface des zones intertidales) par les vents d'ouest dominants en été. Proportionnellement, les croissances estivales des sites nord sont plus importantes que celles des sites sud car le microphytobenthos des sédiments vaseux (nord) est plus productif que celui des sédiments sableux (sud) et l'hydrodynamisme permettant sa remise en suspension est plus important au nord de la baie. Dans l'optique d'une étude de la capacité trophique de la baie de Bourgneuf, permettant de savoir quel stock de mollusques la baie peut accueillir tout en maintenant un bon rendement, il serait nécessaire d'estimer la quantité de microphytobenthos disponible pour les huîtres.

Les huîtres de 30-35 g, cultivées en poche à raison de 200 individus par poche, ont un gain de poids entre mars et novembre qui oscille entre 13 g pour les années les moins productives (1992) et 31 g pour les années les plus productives (1990, 1994, 1995). Les variations interannuelles sont encore plus importantes que les variations intersites, cependant il

se dégage une hiérarchisation spatiale marquée qui dépend essentiellement de la croissance coquillière. Les huîtres les plus lourdes en fin d'année sont élevées au sud (Graisselous) et elles ont des coquilles longues et aplaties tandis qu'au nord (les Moutiers) les huîtres sont un peu plus légères mais avec des coquilles plus "coffrées". Dans les sites intermédiaires, les huîtres présentent des croissances moyennes avec des coquilles plus rondes dans le site de la Coupelasse et plus "coffrée" dans le site du Gril.

Les huîtres de 0,4 à 0,6 g de poids de chair sèche en mars, ont des gains en poids de chair sèche (mesurés en novembre) qui suivent la même évolution interannuelle que les gains en coquille, avec un accroissement proche de 0 en 1992 et un maximum de 0,8 g dans les meilleures conditions. Pourtant la croissance printanière a permis une augmentation de poids en chair sèche de près de 1,3 g en 1990 (Haure & Baud, 1995) mais l'essentiel de ce gain est perdu avec la ponte qui a lieu en juin ou juillet pour les sites nord et en août pour les sites sud (Haure & Baud, 1990, 1995). Ainsi des huîtres qui avaient des indices de condition (Lawrence et Scott) supérieurs à 90 au mois de mai-juin (Haure & Baud, 1995) se retrouvent juste avant la période de commercialisation avec des indices de 45 en 1990 qui est une année de très bonne croissance. Dans la mesure où 99 % du naissain de la baie de Bourgneuf provient de Fouras, la ponte des huîtres ne peut être perçue que comme une perte inutile de productivité. La mise au point d'un procédé de stérilisation en écloserie de l'huître creuse, permet de rendre le naissain de *Crassostrea gigas* triploïde. Les huîtres triploïdes sont quasiment stériles et consacrent donc toute leur énergie à la croissance uniquement. La comparaison de croissance entre des huîtres 2N et 3N dans la baie de Bourgneuf montre de très bonnes performances pour les individus 3N dès la seconde année d'élevage. La culture d'huîtres triploïdes pourrait donc être une alternative intéressante pour améliorer les rendements ostréicoles et la qualité des huîtres de la baie de Bourgneuf.

Les performances de croissance des sites sud se manifestent lors des "bonnes" années 1990 et 1995. Les fortes charge sestoniques (150 mg/l) du secteur nord ne permettraient pas aux huîtres d'utiliser l'importante richesse nutritive apparemment présente dans ce secteur (Haure & Baud, 1990, 1995). Une récente étude montre que, dans les milieux turbides, les

huîtres ne retiennent que les plus grosses particules afin d'éviter de colmater leurs branchies: à faible charge (1,45 mg/l) la taille minimale des particules retenues à 100 % est de 3 à 4 μm ; à forte charge (66 mg/l) elle est de 12 μm (Barillé *et al.*, 1993). Or la quantité de nourriture disponible pour les huîtres est généralement estimée par la quantité de microalgues dont la taille est supérieure à 1,2 μm ce qui induit une certaine surestimation. Il est donc nécessaire d'étudier la taille des microalgues dans chaque site afin de connaître la quantité réellement disponible pour les huîtres.

Les fortes charges sestoniques interviennent également dans les différents processus physiologiques de l'huître tels que la production de pseudofèces et la diminution du rendement d'assimilation de la nourriture. L'application d'un modèle physiologique de l'huître *Crassostrea gigas* conçu pour les milieux turbides (Barillé *et al.*, 1997) permettrait de comprendre les rendements énergétiques des individus soumis aux conditions hydrobiologiques des différents sites de la baie de Bourgneuf.

Comparées aux performances de croissance et de qualité des huîtres élevées en poche dans les autres bassins conchylicoles français, celles de la baie de Bourgneuf sont les plus mauvaises avec celles du bassin de Marennes-Oléron (résultat du réseau REMORA-IFREMER). Le bassin de Marennes-Oléron souffre d'une surexploitation qui a pour conséquence la diminution de la croissance et donc l'augmentation du taux de mortalité, des durées d'élevage et, par conséquent, du coût en main d'oeuvre (Héral *et al.*, 1986). Un phénomène similaire se produit actuellement dans la baie de Bourgneuf.

Cela est confirmé par l'évolution historique des performances de croissance des huîtres élevées en module dans le site de Paillard (sud de l'île de Noirmoutier) entre 1986 et 1995. Lorsque les surfaces concédées sont faibles, les croissances sont très nettement supérieures à celles observées dans la baie. Lorsque les concessions augmentent, ces performances décroissent jusqu'à rejoindre celles de la baie. Ceci traduit une surcharge à l'échelle des parcs ostréicoles.

De plus, la comparaison des performances de croissance entre les huîtres élevées en module expérimental (50 individus sur la surface d'une poche) ou en poche (200 individus par poche) montre que quelles que soient les années ou les sites, les gains en poids de coquille et en poids de chair des huîtres élevées en modules sont toujours nettement supérieurs à ceux des huîtres élevées en poche. Lorsque les densités sont faibles (module), la qualité des huîtres en est améliorée et l'indice de condition (Lawrence & Scott) au mois de novembre est toujours supérieur à 42 avec des maxima proches de 70 tandis que les huîtres élevées en poche ne dépassent jamais 53 avec des minima de 22. Ces résultats confirment la surcharge importante à l'échelle même de la poche ostréicole déjà dénoncée lors de l'analyse des pratiques ostréicoles professionnelles.

V Hydrobiologie de la baie de Bourgneuf

L'étude des paramètres hydrobiologiques d'un site conchylicole, permet de suivre l'évolution spatio-temporelle de la nourriture disponible pour les mollusques filtreurs ainsi que celle des paramètres qui contrôlent la production de cette nourriture. Seule la forme particulière (vivante et détritique) de la nourriture est considérée dans cette étude, en effet l'absorption de matière dissoute par les huîtres représente une faible part de l'énergie nécessaire au mollusque (Bayne, 1976). La partie "vivante" de la nourriture est représentée essentiellement par les microalgues de la colonne d'eau.

V-1 Hydrobiologie de la baie de Bourgneuf

V-1-1 Protocole

V-1-1-1 Sites et années d'échantillonnage

Une première étude des paramètres hydrobiologiques de la baie de Bourgneuf a été entreprise en 1982 (Marion, 1985). Un seul point situé sur le "banc des Marsouins", près du chenal du Fain (Fig. 39), est analysé de février à juin 1982 et de septembre 1982 à janvier 1983 en vives-eaux (VE) et en mortes-eaux (ME) à PM-1, pleine-mer (PM) et PM+1, en surface et au fond.

Le second suivi hydrobiologique est effectué sur les quatre sites ostréicoles (les Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous) (Fig. 39) à proximité immédiate des élevages tests d'huîtres en surélevé, de mars 1987 à novembre 1987 (Baud *et al.*, 1990). Les prélèvements d'eau ont lieu une fois par mois en VE à BM-3, BM-2, BM-1, BM+1, BM+2, BM+3 afin de prendre en compte la variabilité des paramètres hydrobiologiques au cours d'un cycle de marée, et une fois par mois en ME à BM+3. Ils sont collectés au niveau des tables ostréicoles, environ à 50 cm du fond.

La dernière étude porte sur les deux sites ostréicoles des Moutiers (au nord) et de Graisselous (au sud), de mars 1990 à mars 1991, à BM+3 au niveau des tables ostréicoles utilisées pour les suivis de croissance des huîtres (Haure & Baud, 1995).

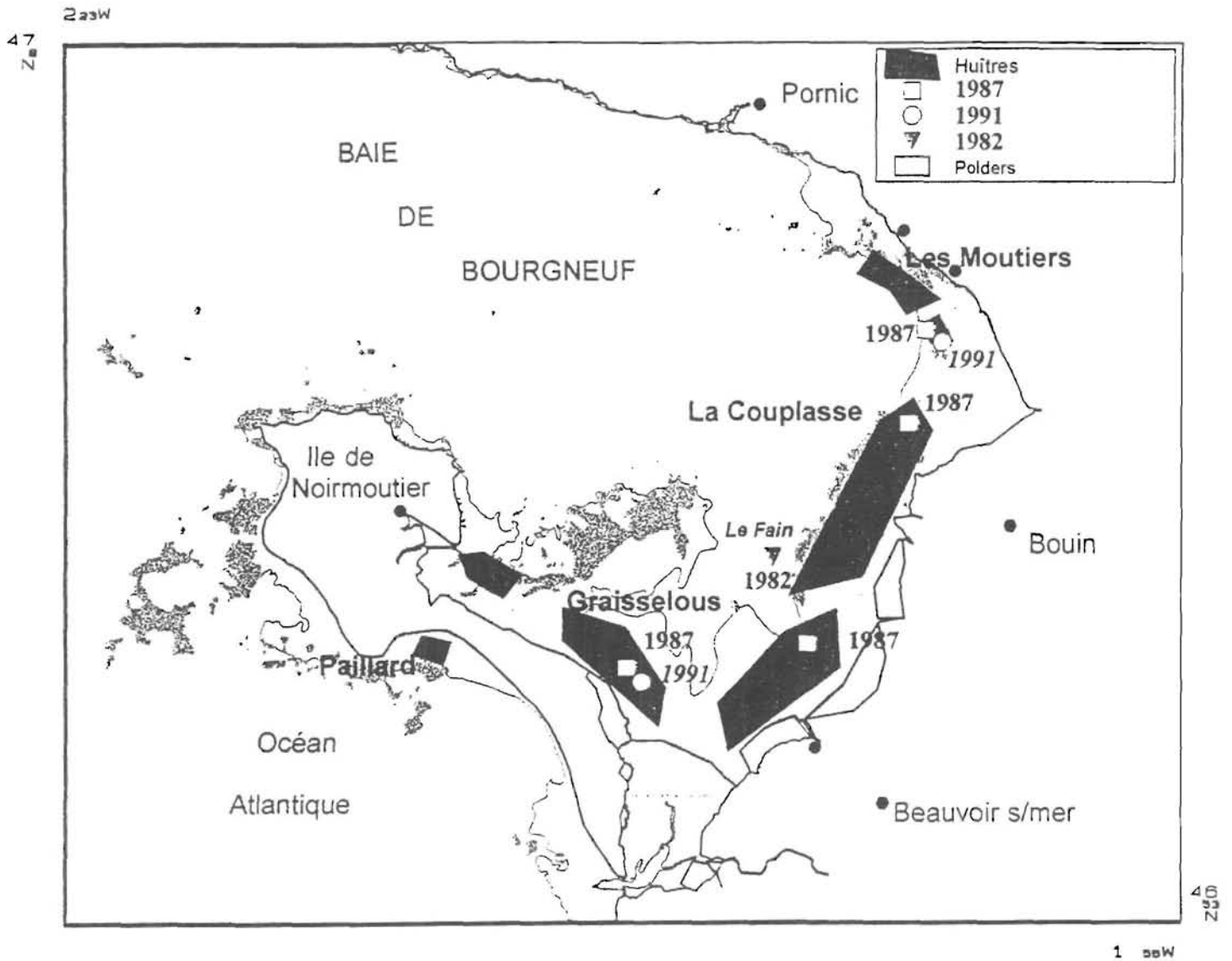


Figure 39: Localisation des points échantillonnés dans la baie de Bourgneuf lors des suivis hydrobiologiques en 1982 (▽), 1987 (□) et 1990-91 (○).

Les prélèvements d'eau sont effectués à l'aide d'une bouteille verticale d'une capacité de 2,5 litres. Une préfiltration sur une maille de 200 μm permet d'éliminer une partie du zooplancton et des grosses particules en suspension.

V-1-1-2 Paramètres hydrobiologiques analysés

- *pH* : Il est mesuré à l'aide d'un pHmètre.
- *Salinité* : Obtenue au moyen d'un conductimètre salinomètre KENT GIL 5005.
- *Température* : Elle est déterminée à l'aide d'un thermomètre à mercure.

- *Poids de seston* : Le seston est défini par l'ensemble du matériel particulaire dont la taille est comprise entre 0,45 μm et 200 μm . Les masses de seston organique et inorganique sont déterminées par la méthode de la "perte-au-feu". La matière particulaire est recueillie par filtration sur un filtre Whatman GF/C (porosité 1,2 μm), préalablement brûlé à 450 °C afin d'éliminer la matière organique propre au filtre. Le filtre est alors rincé avec une solution de formiate d'ammonium isotonique à l'eau de mer afin d'éliminer le sel résiduel. Il est ensuite séché pendant 24 heures dans une étuve à 50 °C. La pesée du filtre déshydraté donne la masse du seston total. Puis le filtre est placé dans un four à 450 °C pendant 1 heure pour détruire la fraction organique. Une seconde pesée permet d'estimer la masse du seston minéral. Le poids de seston organique est calculé par différence entre le seston total et la fraction minérale. Les résultats sont ramenés au volume d'eau filtrée et exprimés en mg/l.

- *Pigments chlorophylliens* : La chlorophylle *a* est utilisée comme estimateur de la quantité de microalgues actives dans la colonne d'eau tandis que la phéophytine *a* est un estimateur de la quantité de microalgues en voie de sénescence. 50 cc de chaque échantillon est filtré sur filtre Wathman GF/C (d'une porosité de 1,2 μm). Le filtre est ensuite imbibé d'une solution de MgCO_3 à 1 %, afin d'améliorer la conservation des pigments à -20 °C. Au moment de l'analyse, les filtres sont broyés dans une solution d'acétone à 90 % et l'extraction des pigments s'effectue à 4 °C à l'abri de la lumière pendant au moins 2 heures. Après centrifugation, les teneurs en chlorophylle *a* et en phéophytine *a* sont mesurées à l'aide d'un fluorimètre TURNER 112. Elles sont exprimées en $\mu\text{g/l}$.

- *Sels nutritifs* : Le filtrat recueilli est immédiatement congelé à -20 °C pour une analyse ultérieure. Les concentrations en SiO_3 , PO_4 , NO_3 , NO_2 , NH_4 et urée sont mesurées sur une chaîne d'analyse à flux continu de type SKALAR selon les méthodes colorimétriques détaillées par Tréguer et Le Corre (1975).

V-1-2 Résultats

V-1-2-1 pH

Les valeurs de pH, relevées dans la baie de Bourgneuf, varient peu au cours des trois années d'études: de 7,9 à 8,5.

V-1-2-2 Salinité

L'évolution des salinités, mesurées sur l'ensemble de la baie durant les trois années d'étude, présente un cycle saisonnier bien marqué en relation avec les débits quotidiens de la Loire (relevés à la centrale électrique de Cordemais) (Fig. 40). Les maxima atteignent 36 g/l en été, lorsque les débits de la Loire sont faibles et que les écluses des cours d'eau du bassin versant sont fermées. Les salinités mesurées sur les estrans nord sont un peu plus fortes que celle des estrans sud à cause de l'évaporation de l'eau qui passe sur les vasières surchauffées en été. Les dessalures apparaissent lors des crues de la Loire et sont naturellement plus marquées dans les secteurs nord (Fig. 40 c), elles atteignent au maximum 28 g/l. Il existe une relation très significative entre les débits quotidiens de la Loire et les salinités mesurées aux Moutiers en 1987 et 1990 ($R^2 = 0,66$; $P < 0,01$; $n = 52$). Certaines dessalures peuvent être ponctuellement exacerbées par les cours d'eau tels que le Falleron en mars 1982 (Fig. 40 a) ou en mars et en octobre 1987 (Fig. 40 b).

V-1-2-3 Température

La température évolue au cours de l'année selon un cycle saisonnier bien marqué et simultanément sur l'ensemble de la baie avec des maxima de 23 °C en période estivale et des minima de 4 °C en hiver (Fig. 41). Aucune différence significative n'apparaît entre les prélèvements de fond et de surface sur le banc des Marsouins en 1982, indiquant un bon brassage des masses d'eau par les courants de marée. Les variations sur un demi-cycle de marée en 1987 (cf. écart-types) sont faibles en raison de l'inertie thermique des masses d'eau. Haure et Baud (1995) montrent une relation significative entre la température de l'eau et la température de l'air associée au coefficient de marée à l'échelle de l'année :

$$\text{Temp}_{\text{eau}} = 0,8703 * \text{Temp}_{\text{air}} + 0,036 * \text{coeffmarée} - 0,0969$$

$$(n = 70; R^2 = 0,88; F = 425; P < 0,001)$$

Ceci témoigne d'une grande sensibilité des masses d'eau de la zone intertidale vis à vis des variations de température ambiante qui sont amplifiées par le réchauffement (en été) ou le

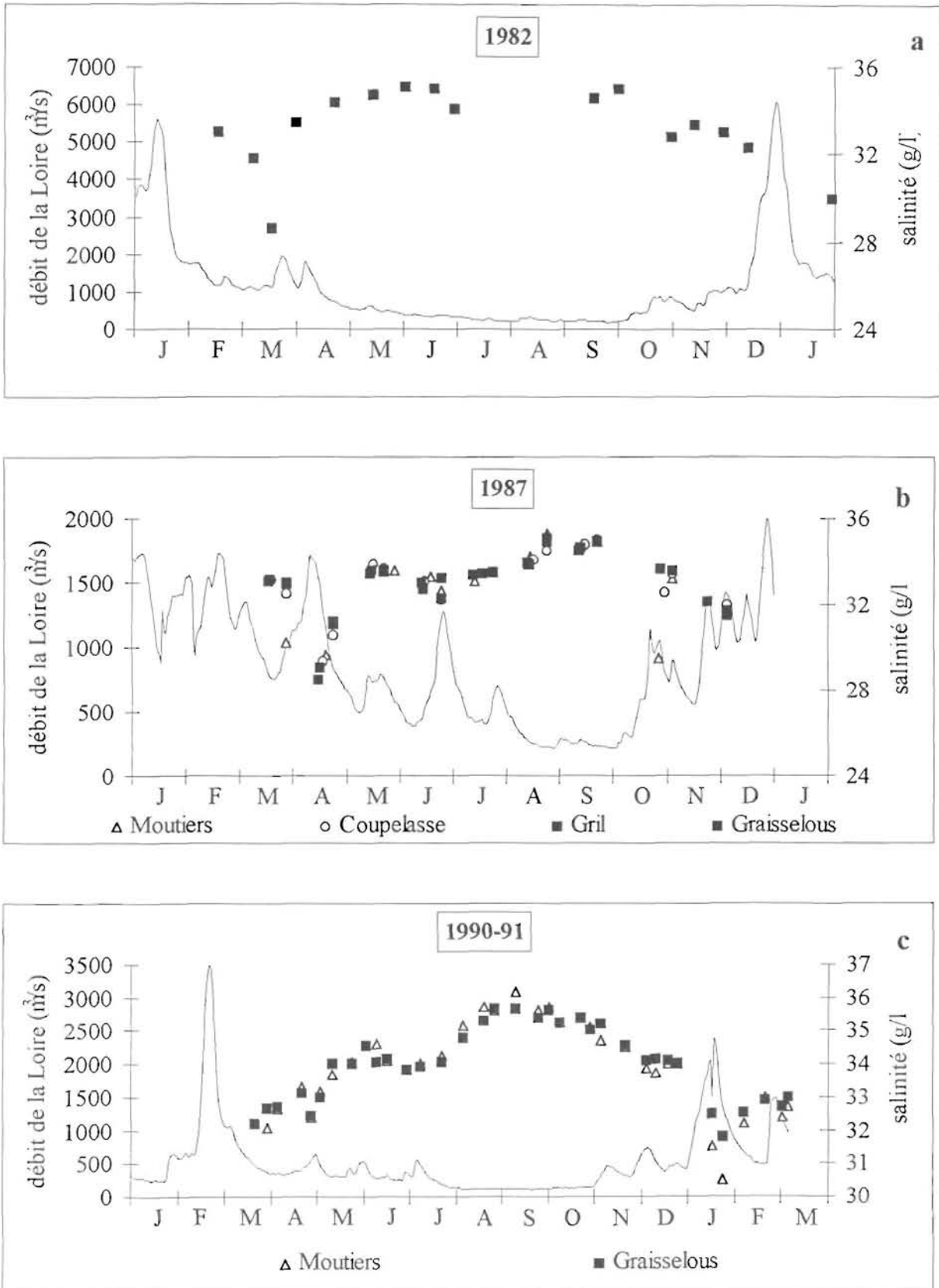


Figure 40: Relation entre les salinités mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83 (Fain), 1987, 1990-91, avec les débits quotidiens de la Loire.

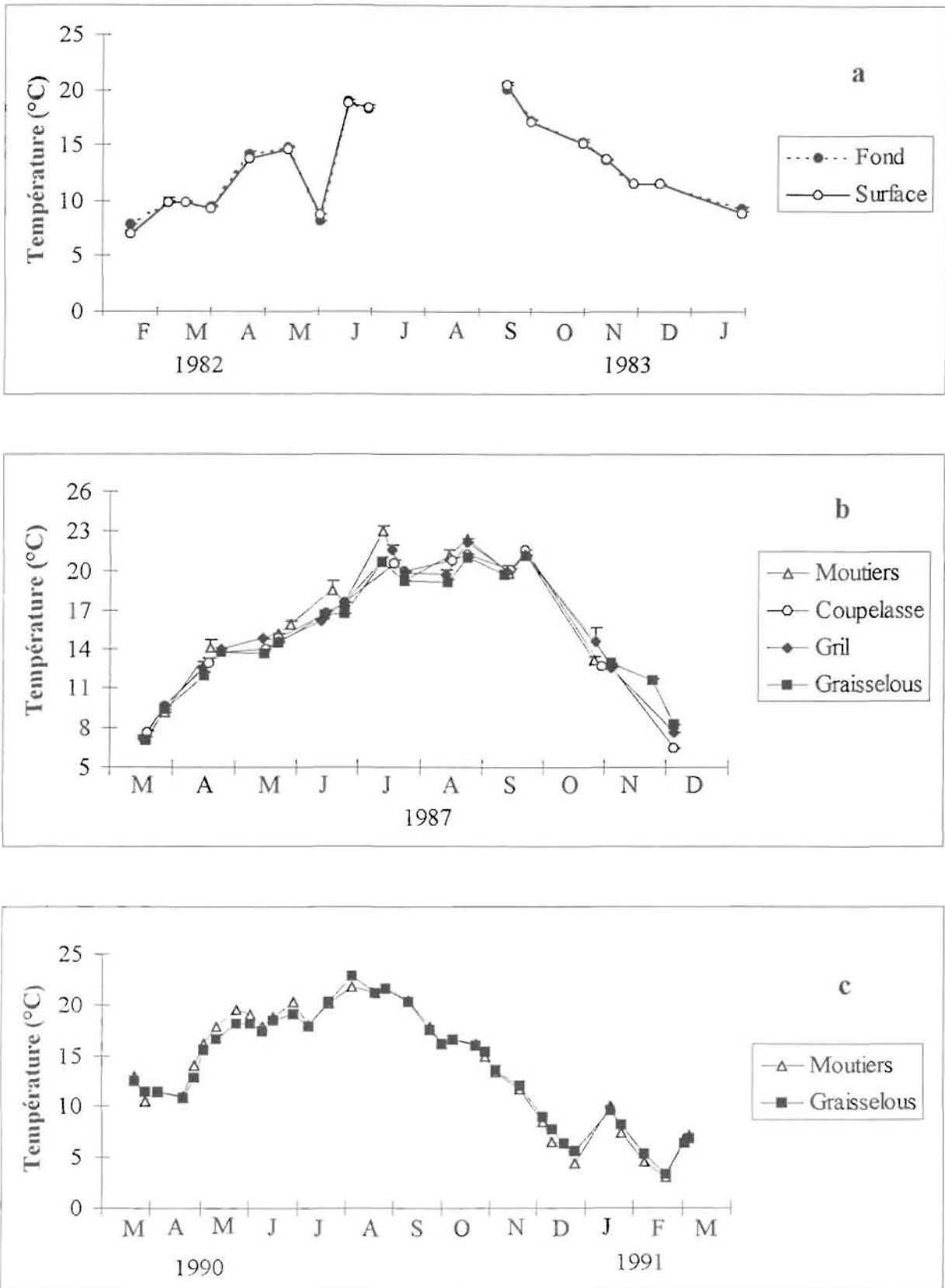


Figure 41: Evolution mensuelle des températures mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83 (Fain), 1987, 1990-91.

refroidissement (en hiver) des estrans durant la basse mer. Ainsi, les températures relevées aux Moutiers sont un peu plus importantes que celle de l'ensemble du bassin en période estivale à cause des vasières surchauffées pendant la marée basse (Fig. 41 b) car les sédiments vaseux ont une capacité thermique plus importante que les sédiments sableux.

V-1-2-4 Le seston

Seston total

Bien que la remise en suspension du sédiment des zones intertidales produise un enrichissement du bol alimentaire des huîtres par apport de microphytobenthos, elle engendre un effet négatif conséquent sur la production phytoplanctonique. En effet, les fortes charges sestoniques diminuent la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau limitant ainsi la photosynthèse des microalgues. Cette limitation de la lumière est un des facteurs majeurs contrôlant la production phytoplanctonique de nombreux estuaires (Cloern, 1987).

Malgré l'important brassage des masses d'eau, il existe un gradient vertical des concentrations sestoniques avec des prélèvements plus riches au fond (Fig. 42 a). Les quantités de seston remises en suspension sont beaucoup plus importantes dans les zones d'estrans vaseux à fort hydrodynamisme au nord (e.g. les Moutiers), de 8 à 138 mg/l en 1987 (Fig. 42 b) et de 14 à 415 mg/l en 1990-91 (Fig. 42 c). Au sud de la baie, dans les zones de sédiments plus grossiers et de moindre hydrodynamisme, les charges sestoniques sont faibles et varient peu: de 8 à 40 mg/l en 1987 (Fig. 42 b) et de 12 à 104 mg/l en 1990-91 (Fig. 42 c). Il y a en moyenne 3 à 4 fois plus de seston au nord qu'au sud. Aucun cycle saisonnier ne se dégage clairement. En 1987, les concentrations sestoniques sont toujours plus importantes en vives eaux qu'en mortes eaux (Fig. 42 b). Etant donné que la remise en suspension des vasières est générée par les courants de marée (Gouleau, 1975), plus le marnage est important plus la surface exposée à l'érosion sera grande. Ce processus est modulé par l'influence du vent qui peut venir grossir le clapot augmentant ainsi l'érosion (Haure & Baud, 1995). Les charges sestoniques relevées en 1990-91 ne montrent pas de relation avec les coefficients de marée soit, parce que l'influence du vent est prépondérante sur l'action des courants de marée, soit parce que l'on a un apport de sédiment allochtone important (bouchon vaseux de la Loire), soit parce que les prélèvements effectués uniquement à BM+3 ne sont pas représentatifs de la charge sestonique journalière.

Une matrice de corrélation de Pearson (logiciel Sigmastat) permet de mesurer le degré de relation entre les différentes variables. Les 49 concentrations sestoniques mesurées à BM+3 aux Moutiers en 1987 et 1990-91, ne présentent aucune relation avec les coefficients

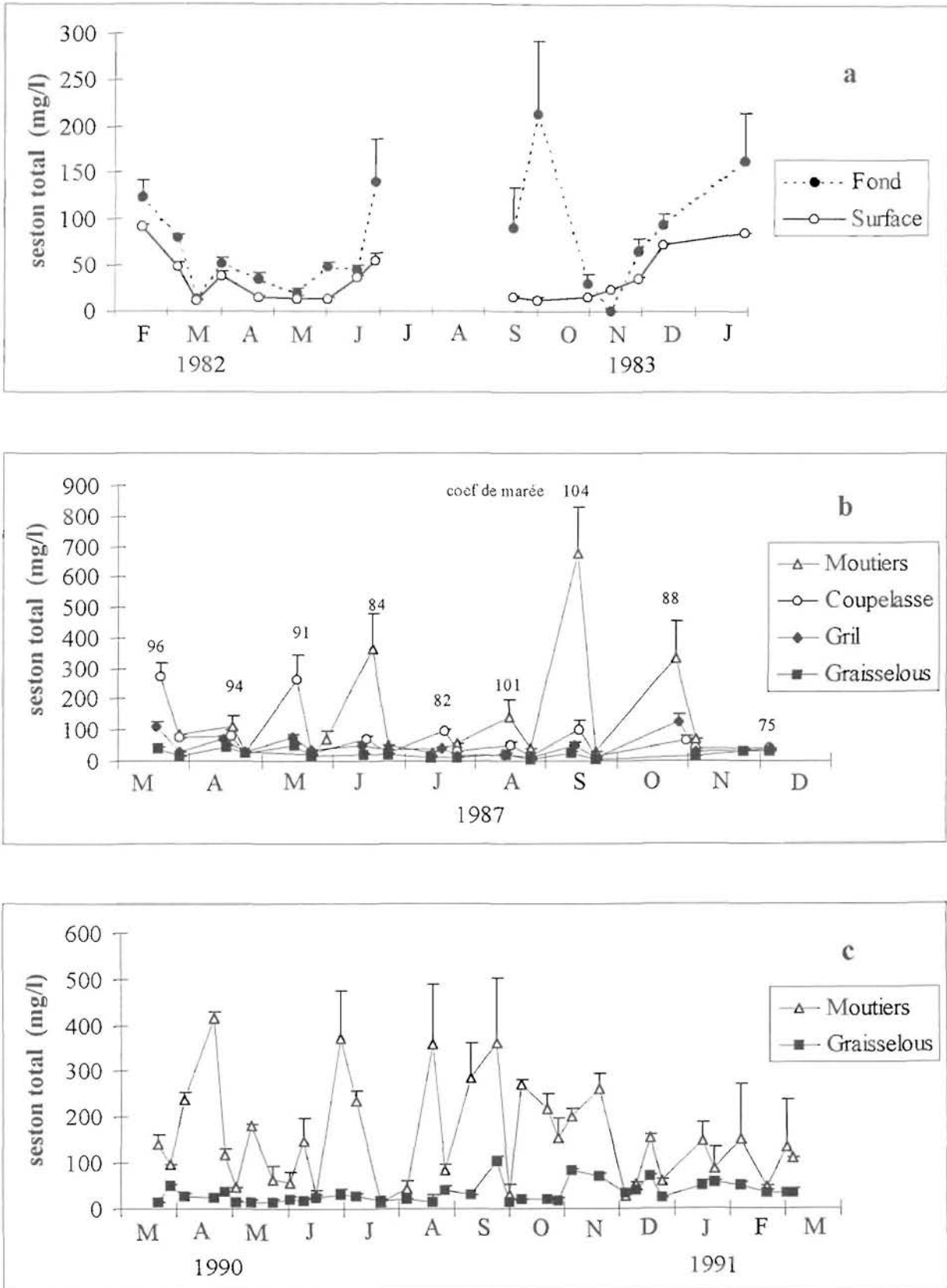


Figure. 42: Evolution mensuelle des charges sestoniques mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83 (Fain), 1987, 1990-91.

de marée, ni avec les vents de secteur W, WNW, NW, NNW du jour même du prélèvement ou du jour précédent, ni avec ces mêmes vents associés au flux quotidien de la Loire. Les charges sestoniques mesurées à BM+3 ne semblent pas être un bon estimateur de la quantité de la charge sestonique journalière.

Il existe en effet une grande variation de la charge sestonique au cours d'un demi cycle de marée (Fig. 43) dans chacun des sites étudiés (Baud *et al.*, 1990). Les prélèvements effectués à BM+3, représentent entre 29 à 100 % de la charge sestonique moyenne dans les sites turbides (Fig. 43 a et b) et de 65 à 160 % de la charge sestonique moyenne dans les sites peu turbides. De même ils ne sont pas représentatifs des maxima sestoniques atteints. De plus nous ne disposons de données que sur les variations sestoniques d'un demi cycle de marée (6 heures) autour de la basse mer alors que Gouleau (1975) indique que le courant de flot a une puissance érosive plus importante que le jusant car il est plus rapide. Dans ces conditions, il est difficile de définir un modèle mathématique prédisant les charges sestoniques dans la baie de Bourgneuf. Bien que Haure et Baud (1995) aient clairement mis en évidence l'importance des vents d'ouest dans les processus de remise en suspension, le modèle mathématique développé d'après les concentrations sestoniques mesurées à BM+3 en 1990-91 n'explique que 50 % des variations de ces concentrations (Haure & Baud, 1995). Paramétrer l'action des différents facteurs intervenant dans la remise en suspension du sédiment nécessite donc une étude annuelle des variations de la turbidité au cours d'un cycle complet de marée sur l'ensemble de la baie. La connaissance de la charge séstonique du milieu est essentielle dans l'estimation de la production phytoplanctonique (production de nourriture), dans l'estimation des quantités de microphytobenthos remises en suspension (enrichissement du bol alimentaire des filtreurs) et dans les processus physiologiques de l'huître *Crassostrea gigas* (consommation et assimilation de la nourriture).

Seston organique

La matière organique particulaire (MOP) est composée de phytoplancton, de zooplancton, de détritiques organiques et de bactéries. La MOP doit être estimée avec précision car elle est souvent utilisée pour calculer la potentialité nutritive d'un bassin conchylicole (Bayne *et al.*, 1989; Van Haren & Kooijman, 1993). Cependant, dans les milieux estuariens argileux tels que la baie de Bourgneuf, la technique de la "perte-au-feu" engendre un biais important concernant l'estimation de la MOP (Barillé-Boyer, données non publiées). En effet, lors de la seconde crémation à 450 °C, toute la matière

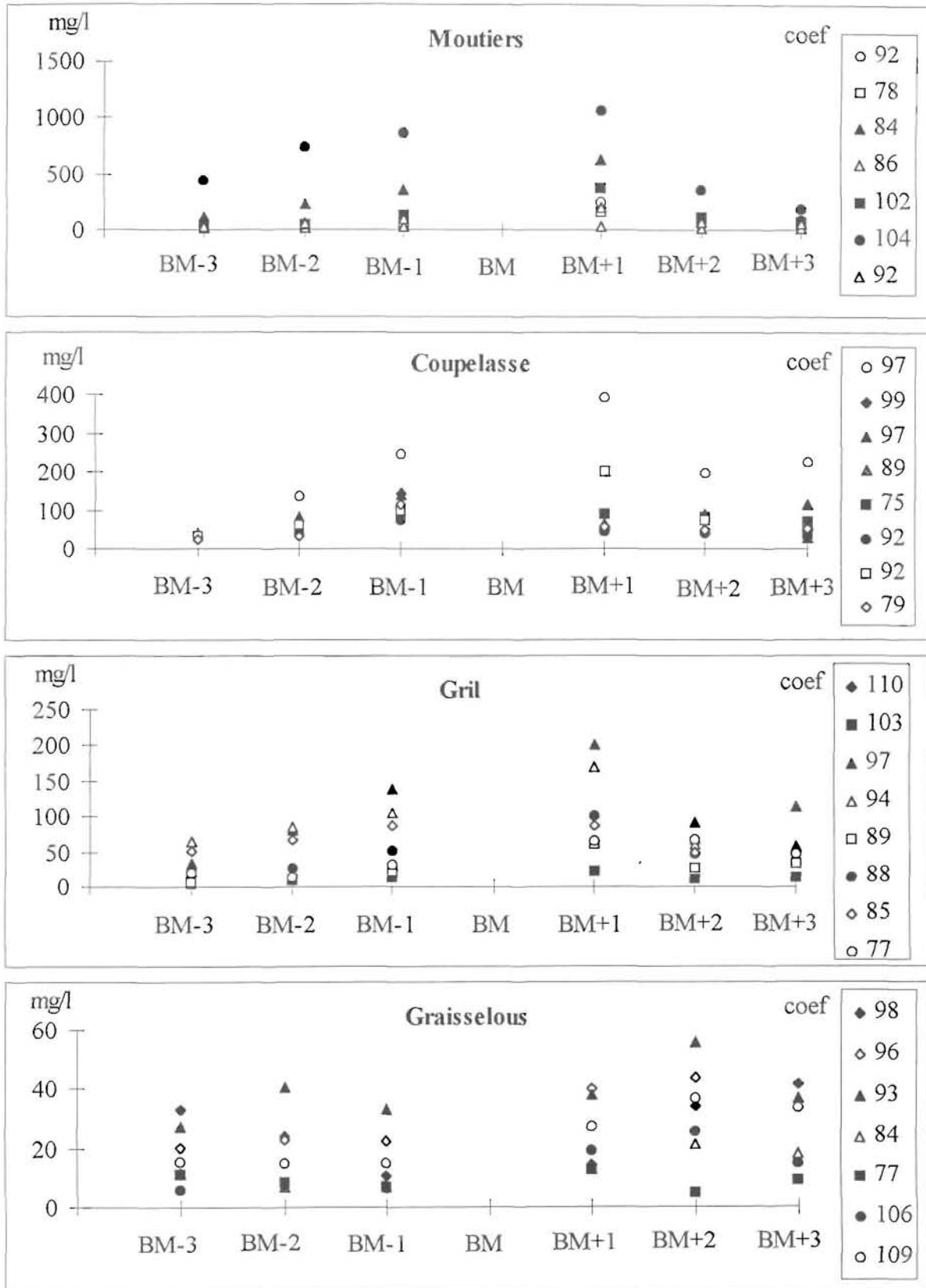


Figure 43: Evolution des concentrations en seston total au cours d'un demi-cycle de marée (BM-3 à BM+3) dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, lors de différents coefficients de marée.

organique est brûlée mais également une partie de l'eau de constitution des argiles s'évapore. La surestimation de la MOP provoquée par cette perte d'eau des argiles dépend de la température de crémation, de la quantité d'argile dans le sédiment et de la nature de ces argiles. Connaissant la composition du sédiment remis en suspension, un facteur de correction peut être calculé selon la méthode préconisée par Barillé-Boyer *et al.* (soumise). Le sédiment remis en suspension dans la baie de Bourgneuf contient 90 % d'argiles composées de 40 % d'illite, 30 % de kaolinite et 30 % de montmorillonite stratifiée (Gouleau, 1975). La correction consiste alors à soustraire 8 % du seston minéral estimé par la méthode de "perte-au-feu" à la mesure de MOP estimée par "perte-au-feu". Cette correction appliquée aux mesures de MOP effectuées en 1987 par Baud *et al.*, (1990) (Fig. 44 a) permet de ramener les valeurs de MOP à des concentrations plus proches de celles décrites dans la littérature (Fig. 44 b).

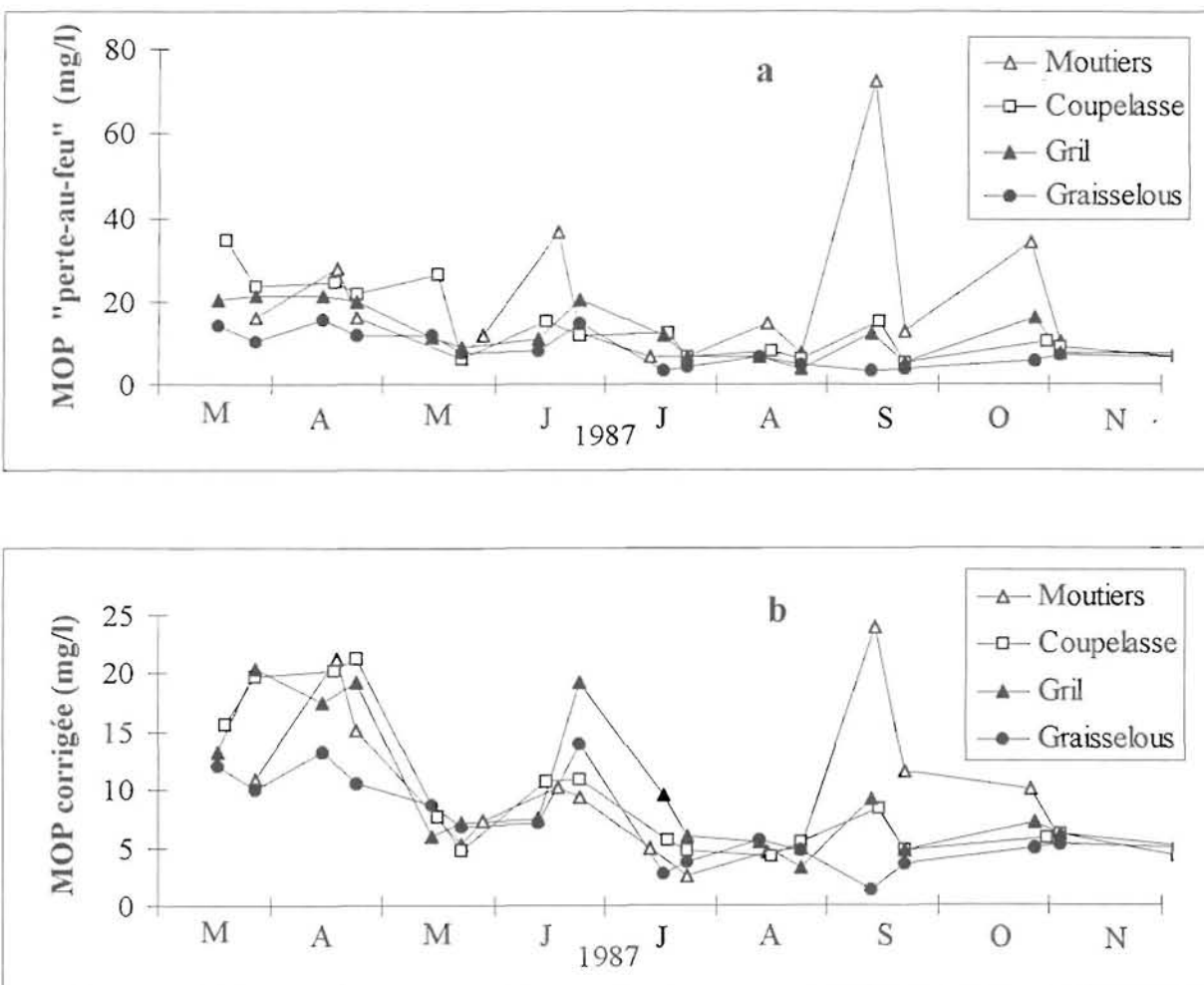


Figure 44: Matière organique particulaire (MOP) mesurée en 1987 dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) estimée par la méthode de la "perte au feu", b) après correction.

Les valeurs corrigées de MOP montrent un premier pic printanier correspondant à l'efflorescence algale et un second pic estival qui permettent d'expliquer les croissances d'huîtres observées pendant ces deux périodes en 1987 (Fig. 26). Les huîtres sont en effet, capables d'assimiler la matière détritique mais avec un rendement énergétique plus faible que celui des microalgues (Barillé *et al.*, 1997). Les fortes concentrations rencontrées uniquement aux Moutiers en automne sont dues à une importante remise en suspension de la matière détritique des vasières (Fig. 42 b).

De même, la correction des valeurs de MOP mesurées en 1990 par Haure et Baud (1995) (Fig. 45 a), met en évidence un cycle saisonnier avec deux pics estival et automnal (Fig. 45 b) qui expliquent les croissances observées lors de ces périodes aux Moutiers et à Graisselous (Fig. 26).

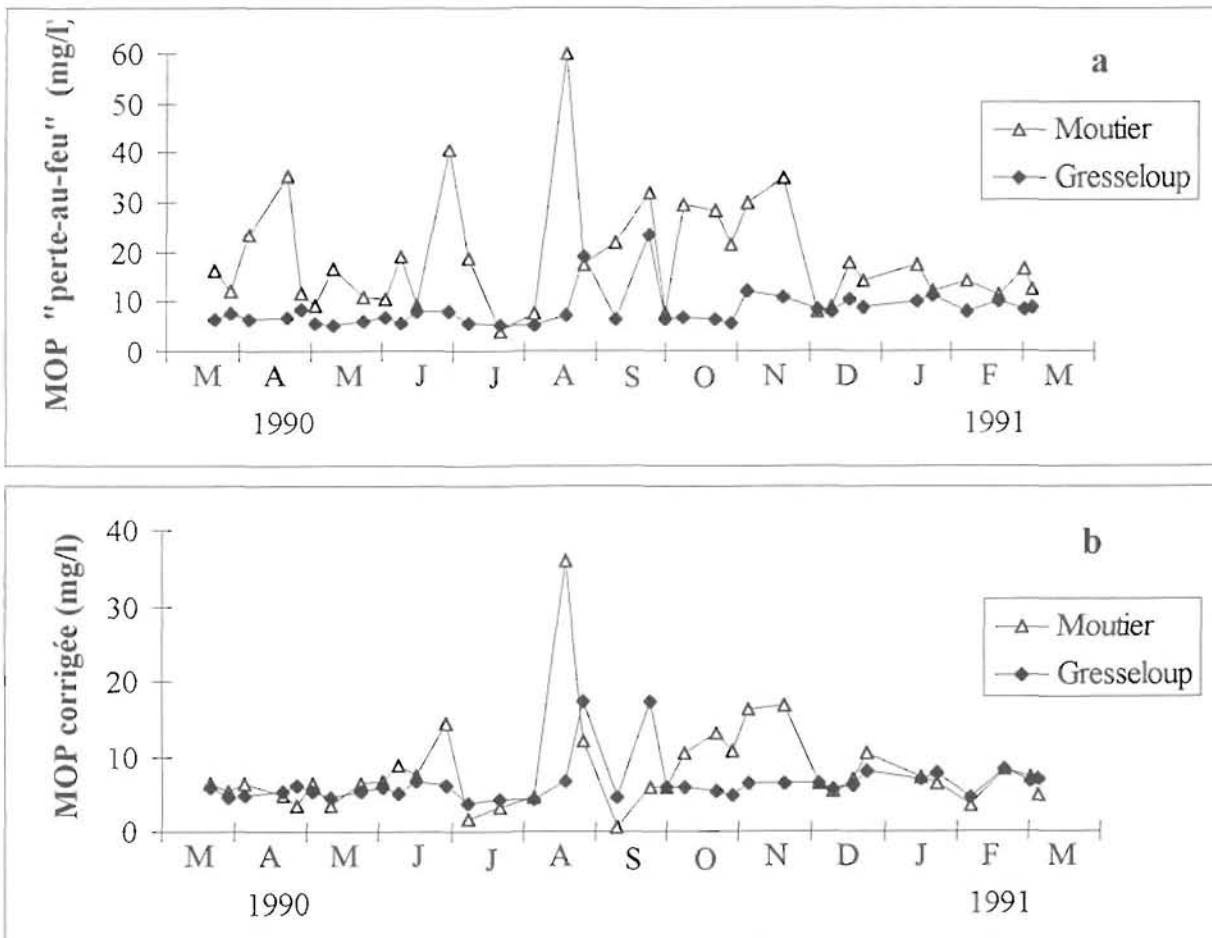


Figure 45: Matière organique particulaire (MOP) mesurée en 1990-91 dans deux sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf, a) estimée par la méthode de la "perte au feu", b) après correction.

V-1-2-5 Pigments chlorophylliens

Les mesures de pigments chlorophylliens reflètent un bilan entre une production microalgale et une consommation par les mollusques filtreurs. Ces valeurs sont utilisées pour comparer les sites et les années dans la mesure où l'impact de prédation par les filtreurs est considéré comme constant.

Chlorophylle a

Les mesures de chlorophylle a effectuées autour de la pleine mer près du chenal du Fain en 1982 (Fig. 46 a) indiquent des valeurs maximales de l'ordre de 5 $\mu\text{g/l}$ en avril-mai. Les prélèvements de fond sont plus riches que les prélèvements de surface indiquant qu'il s'agit en partie de microphytobenthos remis en suspension. En 1987, le bloom phytoplanctonique atteint 25 à 30 $\mu\text{g/l}$ mais il est fugace et se produit à la mi-avril, le bloom estival est moins important d'environ 7 $\mu\text{g/l}$ (Fig. 46 b). Les fortes concentrations (20-25 $\mu\text{g/l}$) relevées en dehors des périodes d'efflorescence phytoplanctonique dans les sites nord (Fig. 46 b) sont en étroite corrélation avec la charge sestonique (Fig. 42 b) et témoignent qu'il s'agit là encore de microphytobenthos remis en suspension. Les écarts-types à la moyenne indiquent de fortes variations des concentrations en chlorophylle a sur un demi-cycle de marée, pour les fortes valeurs (Fig. 42 b). L'analyse de ces variations montre que les valeurs maximales de chlorophylle a sont atteintes autour de la basse mer, lorsque les courants de jusant ou de flot remettent en suspension le microphytobenthos. En 1990, une petite efflorescence apparaît au début du mois d'avril, mais l'essentiel de la production phytoplanctonique se produit en période estivale et automnale avec une valeur relativement constante de 22 $\mu\text{g/l}$ dans le site nord (Fig. 46 c). Les écarts-types qui définissent la variation des concentrations en chlorophylle a sur trois échantillons simultanés sont assez importants et témoignent de l'hétérogénéité des masses d'eau (Haure & Baud, 1995). Les concentrations rencontrées dans le secteur sud sont toujours très nettement inférieures à celle des sites nord, elles sont en moyenne de 5 $\mu\text{g/l}$ (Fig. 46 b et c). Les teneurs en chlorophylle a relevées dans le secteur nord de la baie de Bourgneuf sont très supérieures à celles rencontrées dans les autres bassins conchylicoles. L'analyse des concentrations en chlorophylle a dans le bassin de Marennes-Oléron de 1977 à 1981 sur le site du Chapus indique des maxima printaniers de 10 à 14 $\mu\text{g/l}$ avec quelques rares valeurs atteignant 18 ou 26 $\mu\text{g/l}$ (Héral *et al.*, 1984). Cependant il faut souligner que les mesures de chlorophylle a de la baie de Bourgneuf en 1987 et 1990 sont effectuées près des tables

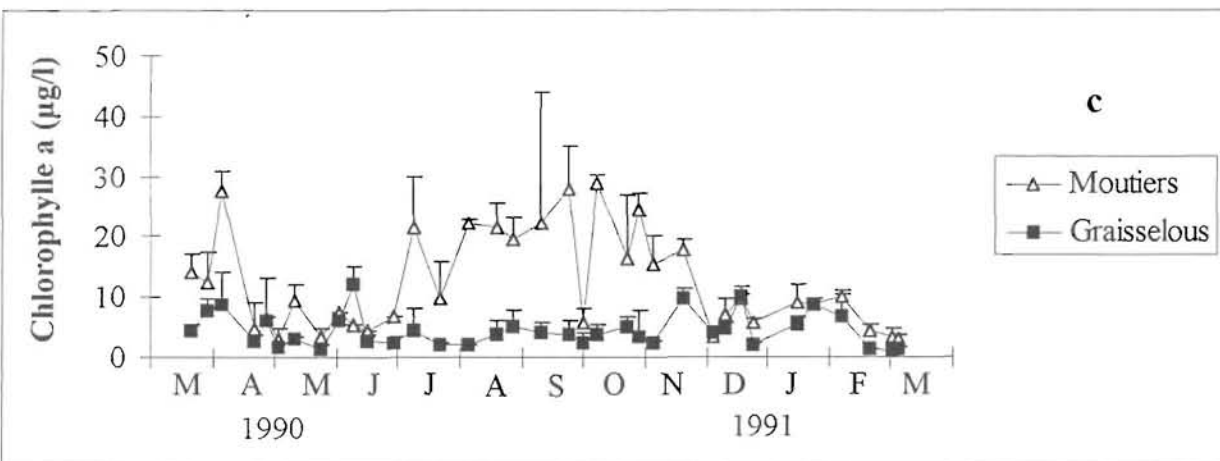
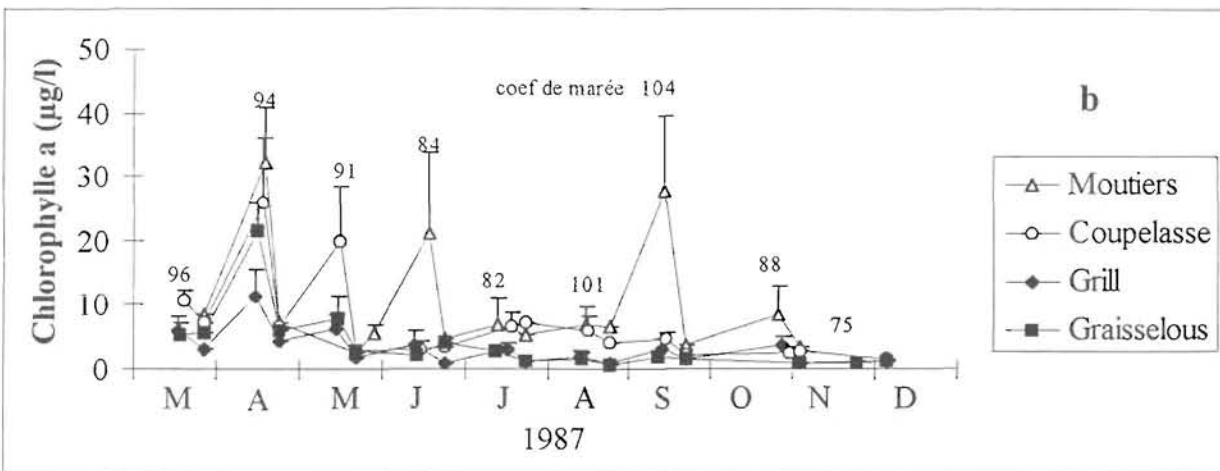
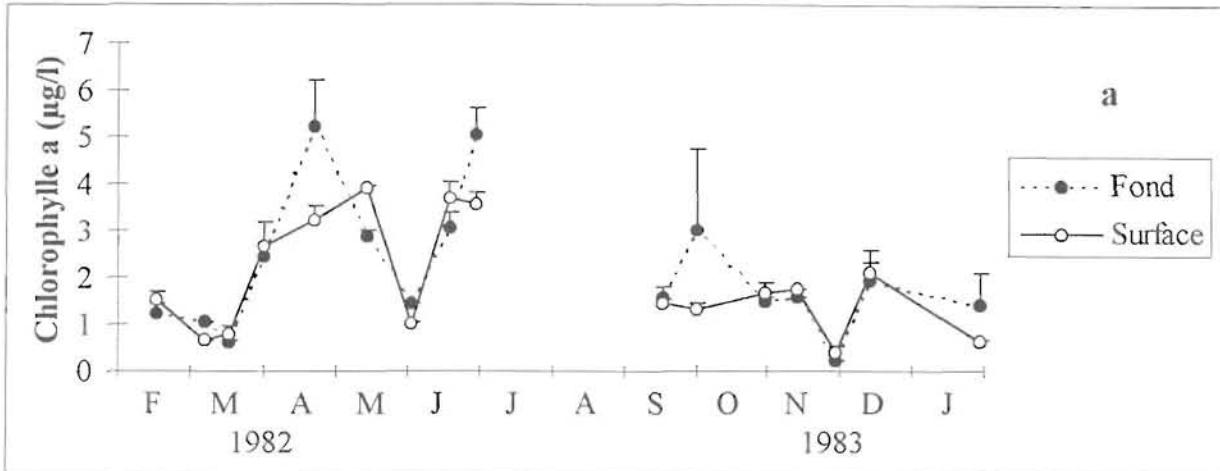


Figure 46: Evolution mensuelle des concentrations en chlorophylle a mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

ostréicoles à 50 cm des vasières tandis que les eaux du chenal du Fain ou celles du Chapus peuvent être diluées en partie par les eaux océaniques.

L'année 1990 est caractérisée par un important développement algal contrairement à 1982. Les efflorescences phytoplanctoniques de la baie de Bourgneuf présentent un pic restreint au mois d'avril de l'ordre de 25 $\mu\text{g/l}$ dans les trois sites nord et de l'ordre de 10 $\mu\text{g/l}$ dans le site de Graisselous. L'importance et la durée des efflorescences estivales sont très irrégulières selon les années. Les importantes concentrations de chlorophylle a rencontrées en automne 1990 aux Moutiers et à Graisselous, semblent être un phénomène atypique étant donné que les croissances automnales sont généralement très réduites ou négatives sauf en 1990 (Fig. 26).

Phéophytine a

Les concentrations en phéophytine a ont également des profils annuels dissemblables (Fig. 47). En 1982, les phéopigments ne suivent pas du tout l'évolution de la chlorophylle (Fig. 47 a). En 1987, leurs concentrations montrent une variation en fonction des coefficients de marée (Fig. 47 b). Seuls les concentrations en phéophytine a des Moutiers sont fortement corrélées avec la charge sestonique ($R^2 = 0,78$, $n = 45$, $P < 0,01$) tout comme en 1990 ($R^2 = 0,80$, $n = 70$, $P < 0,001$). En 1990, aux Moutiers, la phéophytine et la chlorophylle a sont très liés ce qui indique l'origine essentiellement microphytobenthique du matériel vivant remis en suspension en même temps que la matière détritique (Haure & Baud, 1995). Dans le site de Graisselous, les concentrations en phéophytine a varient indépendamment des teneurs en chlorophylle a, ce qui traduit l'origine planctonique des microalgues (Haure & Baud, 1995).

V-1-2-6 Sels nutritifs

Très tôt Redfield (1934) et Fleming (1940) ont démontré que l'assimilation de carbone lors de la photosynthèse du phytoplancton, nécessitait l'incorporation d'azote et de phosphore. Beaucoup d'espèces phytoplanctoniques (les diatomées en particulier) utilisent le silicium pour élaborer leur frustule (diatomées) ou leur squelette interne (silicoflagellés). Le silicium peut représenter entre 15 et 30 % du poids sec des diatomées (Parson *et al.*, 1961). Les diatomées représentent généralement plus de 90 % du phytoplancton (en nombre de cellules) dans la plupart des estuaires macrotidaux de la façade atlantique. L'insuffisance d'un de ces éléments nutritifs entraîne l'arrêt de la production phytoplanctonique.

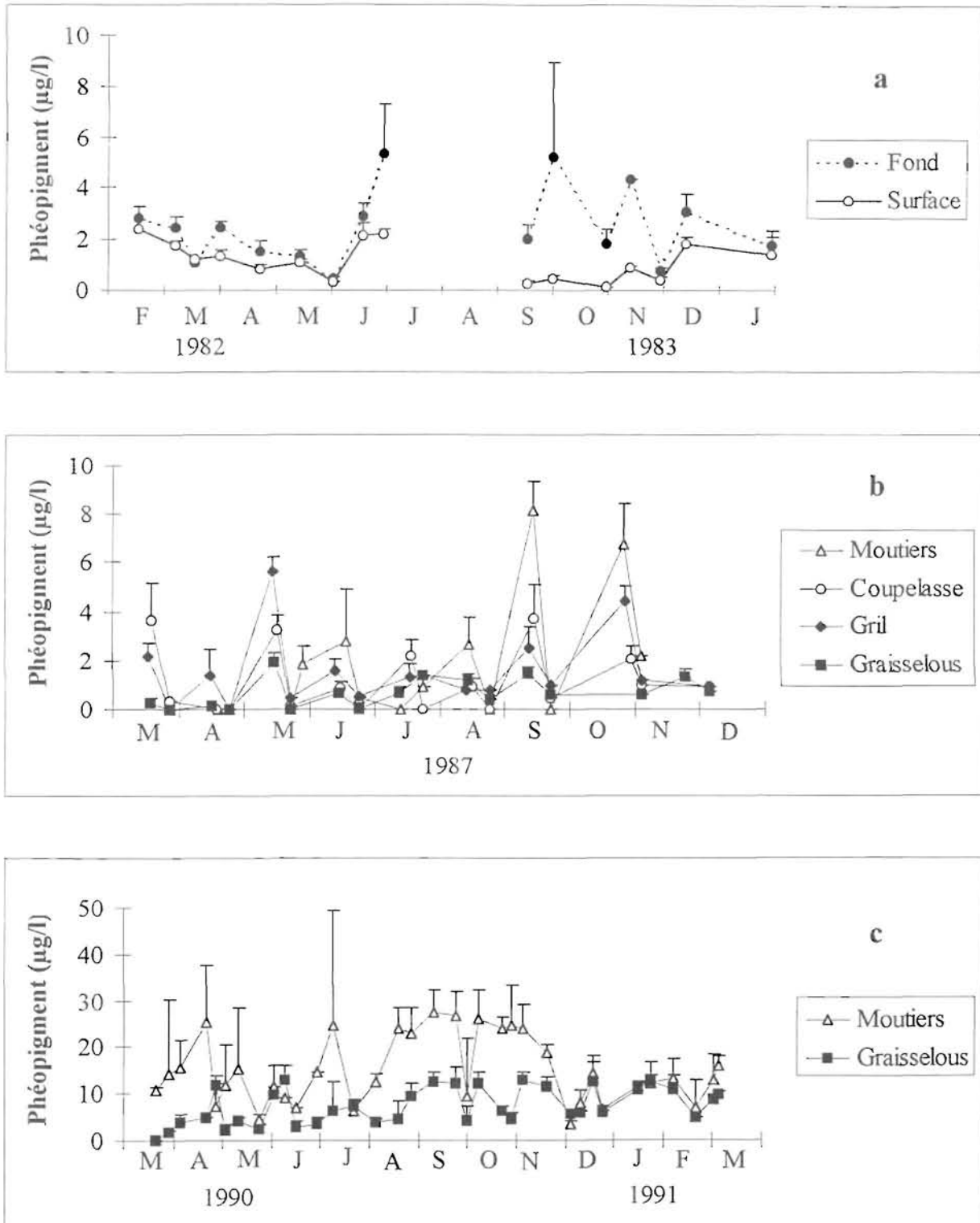


Figure 47: Evolution mensuelle des concentrations en phéopigments mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

Les silicates Si-SiO₂

Les silicates présentent la même évolution annuelle durant les trois années étudiées et sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf (Fig. 48). La quantité de silicates accumulés dans la baie pendant l'hiver diminue rapidement lors de l'efflorescence phytoplanctonique du mois d'avril (Fig. 48) car ils sont consommés par les diatomées. Les concentrations à la sortie de l'hiver 1987 sont faibles, entre 10 et 15 $\mu\text{atgSi/l}$ et la consommation de cette silice en période printanière est lente indiquant un faible développement algal. Le plateau estival des concentrations en SiO₂ (autour de 5 à 15 $\mu\text{atgSi/l}$) semble indiquer que la croissance des populations phytoplanctoniques est limitée par un autre élément nutritif (azote ou phosphore) et que les diatomées ne sont plus majoritaires. Les fortes remontées de silice en automne témoignent de la reminéralisation des tests siliceux des diatomées qui ont alors disparu du milieu.

Les phosphates P-PO₄

La consommation des phosphates par l'efflorescence printanière est nette en 1982 et en 1990 (Fig. 49 a et c), mais elle n'apparaît que très faiblement en 1987 confirmant la faiblesse du développement algal (Fig. 49 b). Les concentrations en phosphates sont très faibles au début du printemps 1990 (< 1,2 $\mu\text{atgP/l}$) et elles sont rapidement épuisées par l'efflorescence algale du mois d'avril (Fig. 49 c). Hormis un pic en septembre 1990, les concentrations resteront inférieures à 1 $\mu\text{atgP/l}$ tout au long de l'année. La différence de concentrations entre les Moutiers et Graisselous lors de l'été 1990 (Fig. 49 c) confirme que la chlorophylle relevée dans le site nord provient de la remise en suspension de microphytobenthos (qui ne consomme pas les sels nutritifs de la colonne d'eau), tandis que la chlorophylle mesurée à Graisselous reflète un développement phytoplanctonique. **Les nitrates N-NO₃**

Principal constituant de l'azote minéral dissous, les nitrates atteignent de fortes concentrations (> 40 $\mu\text{atgN/l}$) avant d'être consommés par l'efflorescence algale en 1982 et 1990 (Fig. 50 a et c). En 1987 où les concentrations de NO₃ au mois de mars sont inférieures à 20 $\mu\text{atgN/l}$, aucun développement algale important ne semble se produire et les concentrations restent stables jusqu'au mois de novembre (Fig. 50 b). Les concentrations en NO₃ sont quasiment nulles pendant tout l'été jusqu'au mois d'octobre en 1982 et 1990. A partir du mois de novembre, les teneurs en nitrate remontent de manière irrégulière ce qui pourrait s'expliquer par des apports allochtones ponctuels importants et non pas par une simple reminéralisation des détritits (Fig. 50 a et c).

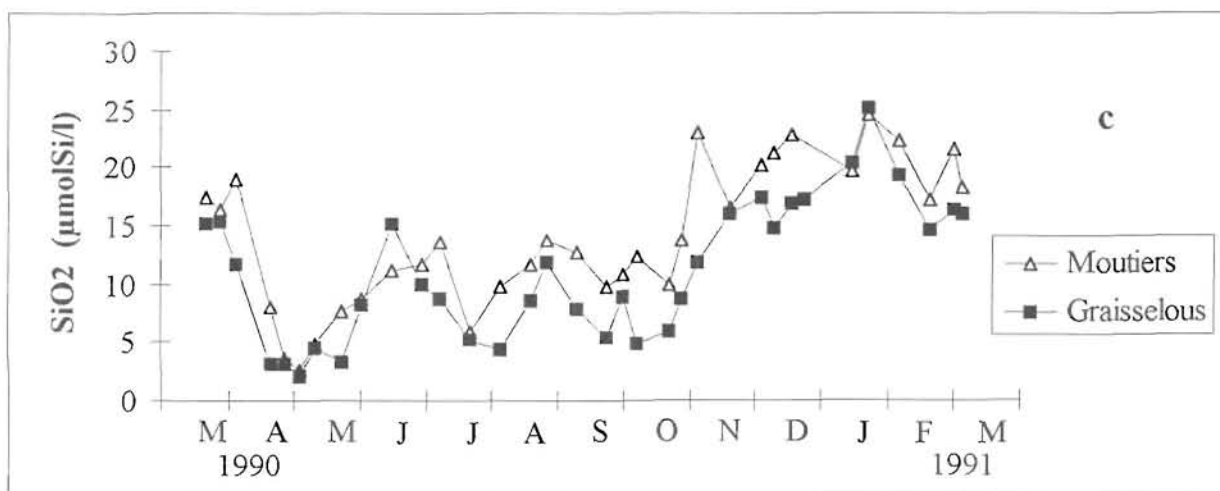
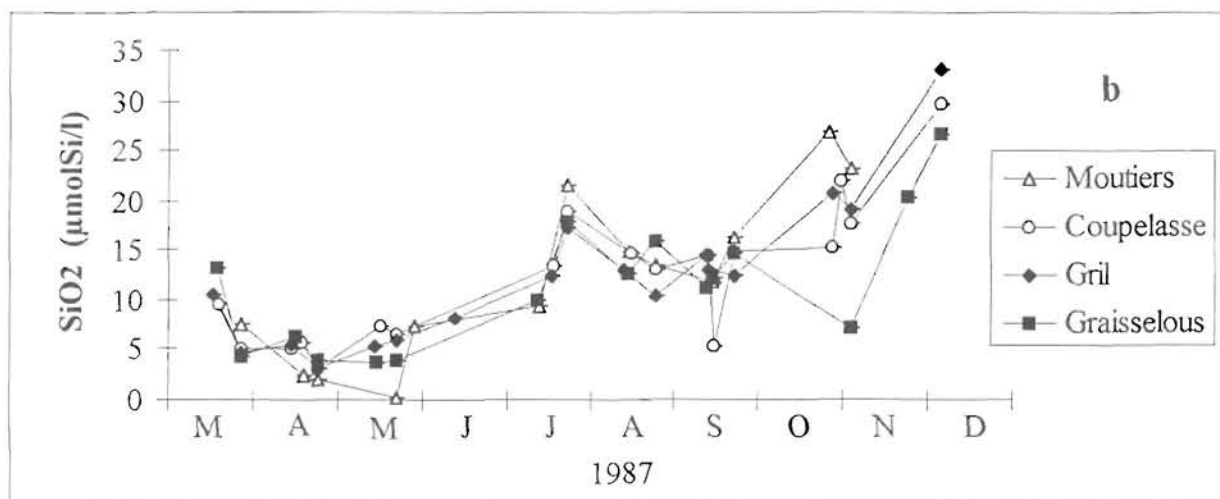
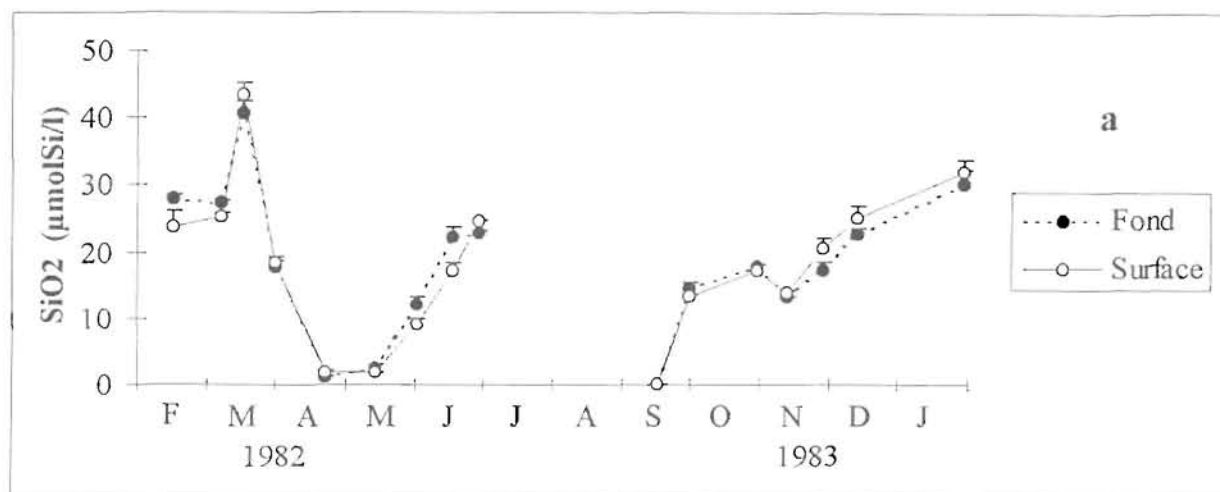


Figure 48: Evolution mensuelle des concentrations en silicates SiO₂ mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.



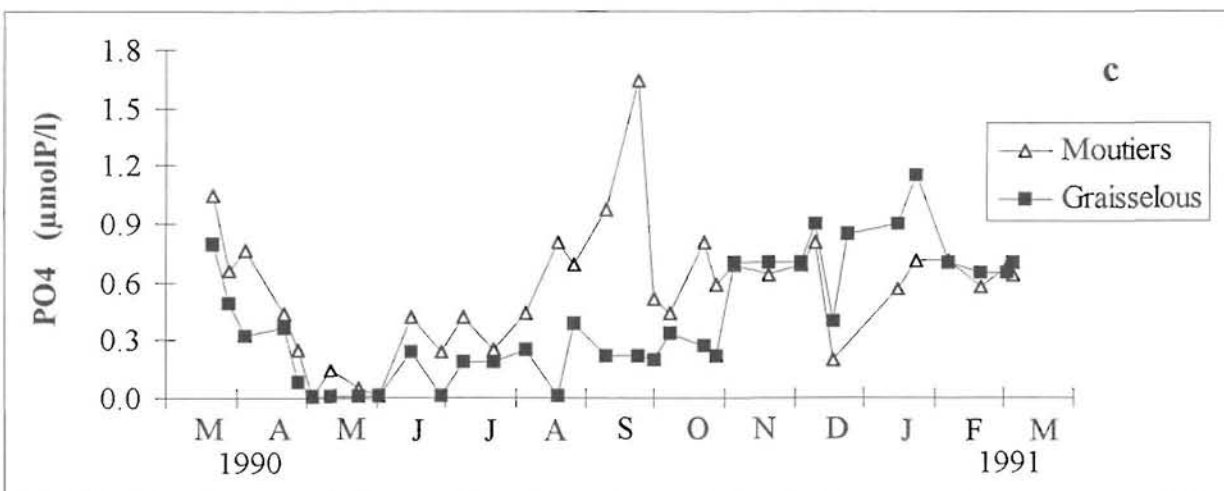
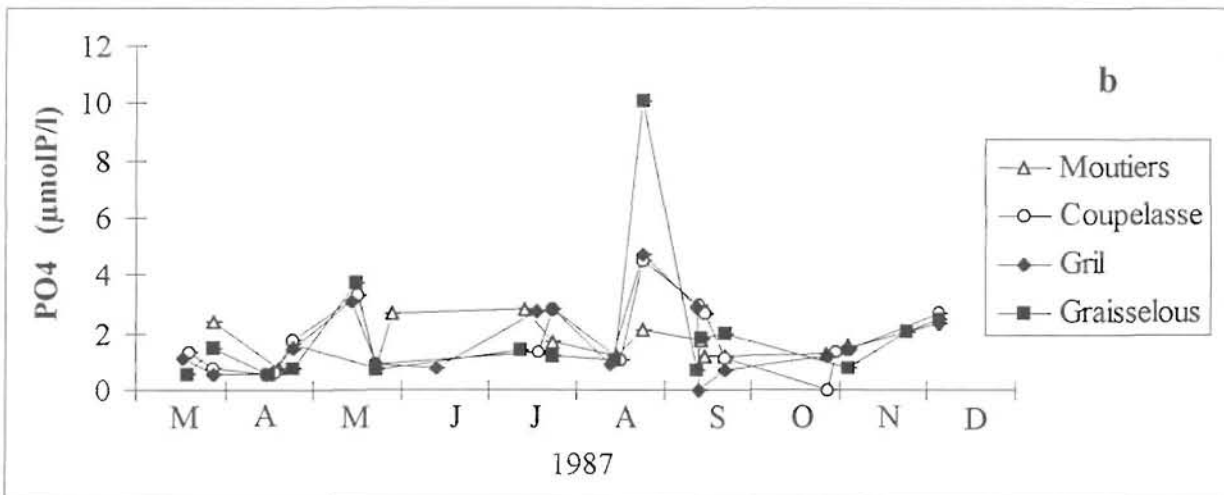
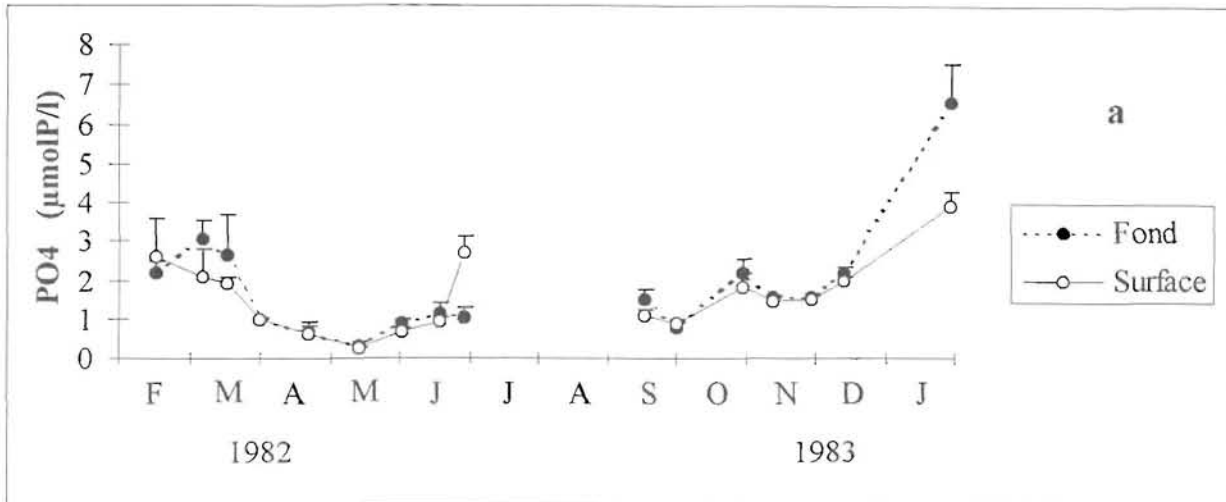


Figure 49: Evolution mensuelle des concentrations en ions orthophosphates PO₄ mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

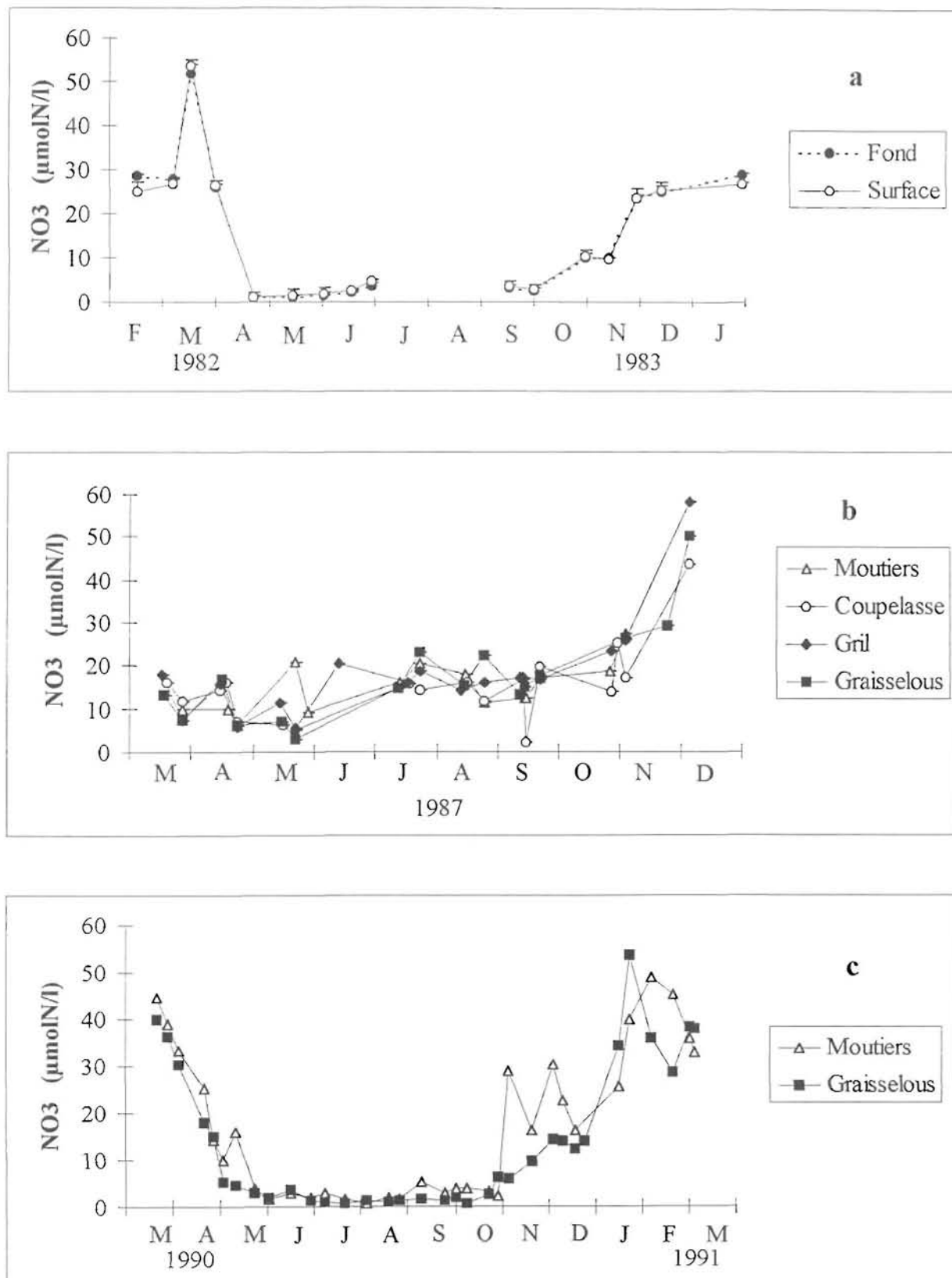


Figure 50: Evolution mensuelle des concentrations en nitrates NO₃ mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

Les nitrites N-NO₂

Les nitrites sont une forme intermédiaire instable entre les ions nitrates NO₃ et les ions ammonium NH₄. Leurs concentrations dans le milieu sont toujours très faibles, inférieures à 1,4 µatgN/l (Fig. 51) et ils ne jouent donc pas un rôle essentiel dans la production phytoplanctonique.

Les ions ammonium N-NH₄

Les concentrations en ammonium relevées sur l'ensemble de la baie pendant les trois années d'étude ne suivent pas l'évolution des nitrates. Elles oscillent irrégulièrement entre 0 et 4 µatgN/l pour les eaux proches du chenal du Fain en 1982 (Fig. 52 a) et entre 2 et 10 µatgN/l pour les eaux récoltées près des tables ostréicoles avec des pics pouvant atteindre 24 µatgN/l (Fig. 52 b et c). Ce comportement erratique s'explique par l'action combinée de plusieurs processus antagonistes. La diminution des ions NH₄ provient de la consommation préférentielle de cette forme azotée par les microphytes et de la minéralisation bactérienne des ions ammonium en nitrite puis nitrate (Bougis, 1974). La production d'ions ammonium résulte de la minéralisation bactérienne de la matière organique d'une part et de l'excrétion dissoute des mollusques d'autre part. En effet, les huîtres *Crassostrea gigas* élevées dans les bassins de Marennes-Oléron, ont un taux d'excrétion ammoniacale qui augmente du mois de décembre au mois de juin de 0,3 à 2,1 µatgN/h pour un individu de 1 g de poids de chair sèche (Vincendeau, 1987) ce qui correspond approximativement à un individu de 70 g de poids total. Le taux d'excrétion d'azote inorganique dissous de la moule *Mytilus edulis* varie de 0,1 à 4,2 µatgN/h pour des individus de 1 g de poids de chair sèche au nord de la mer Baltique (Kautsky & Wallentinus, 1980) ce qui correspond approximativement à des individus de 12 g de poids total. Etant donné l'importance des stocks atteinte par ces deux mollusques dans la baie de Bourgneuf (40 000 t) cette production d'ions ammonium a un rôle non négligeable sur la production phytoplanctonique de la baie. Si les teneurs en nitrate sont quasiment nulles sur une période de l'année, les teneurs en NH₄ ne descendent jamais en dessous de 2 µatgN/l.

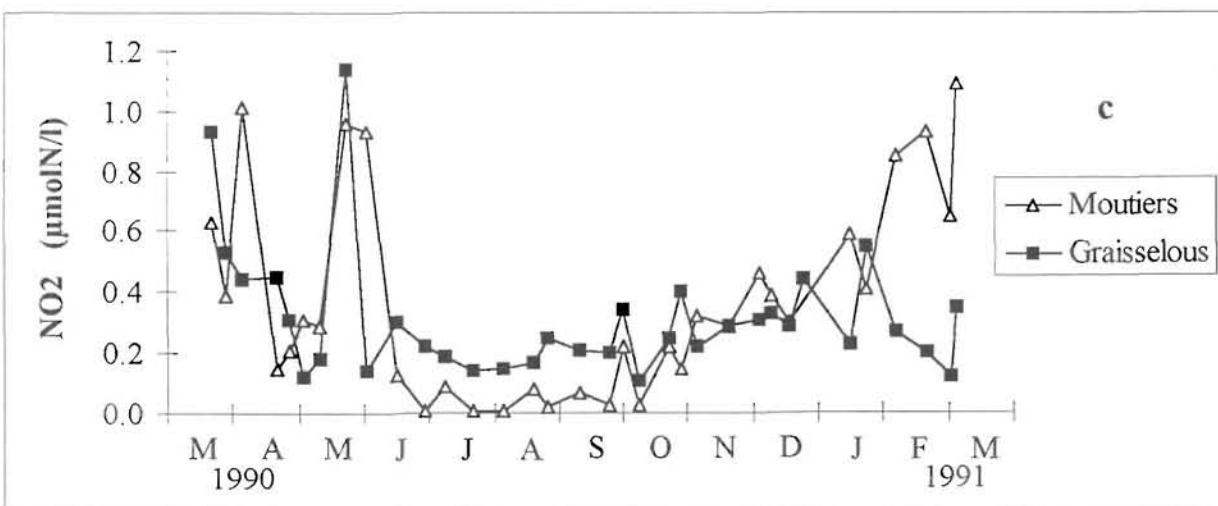
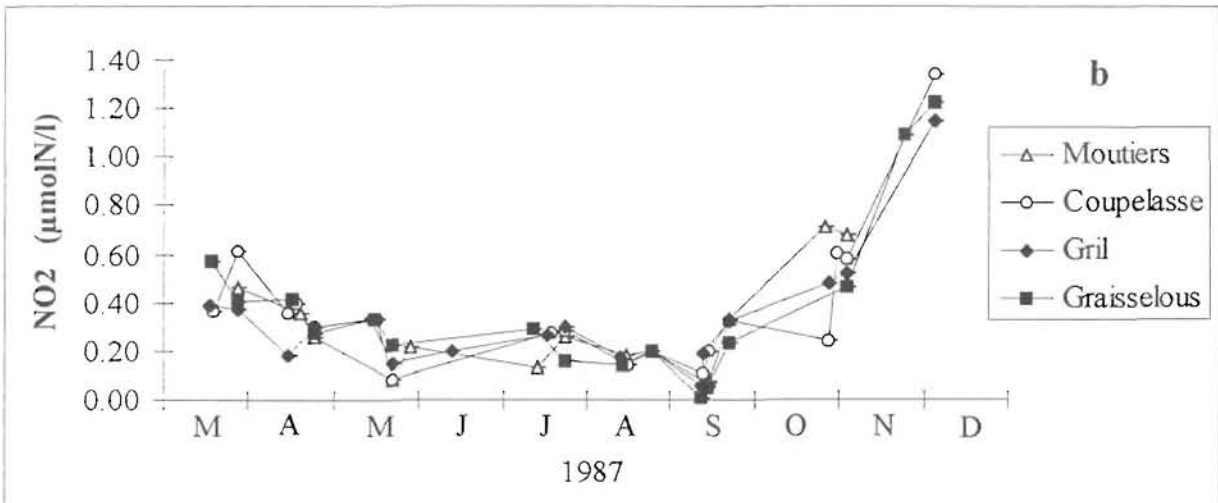
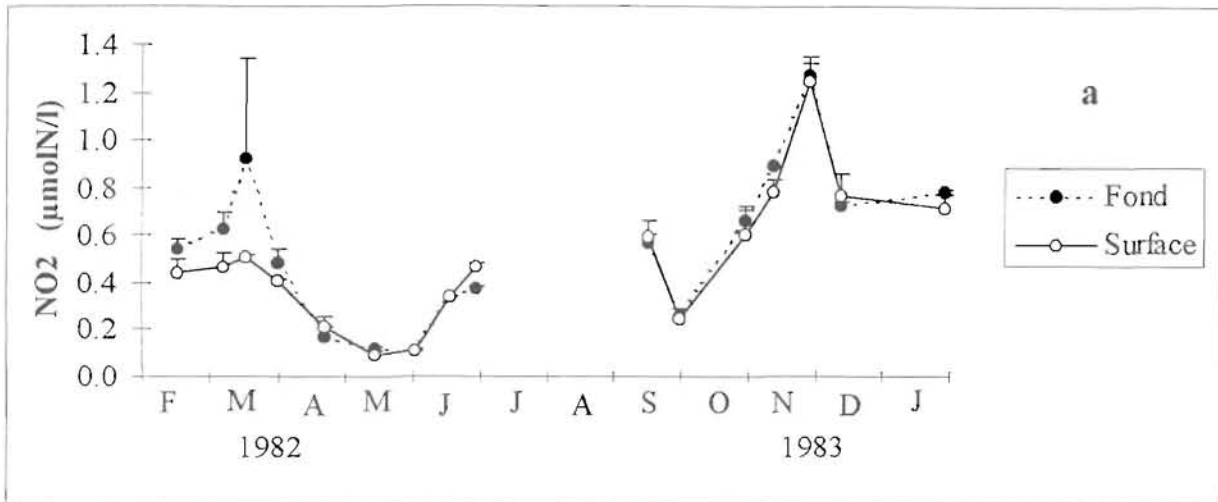


Figure 51: Evolution mensuelle des concentrations en nitrites NO₂ mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

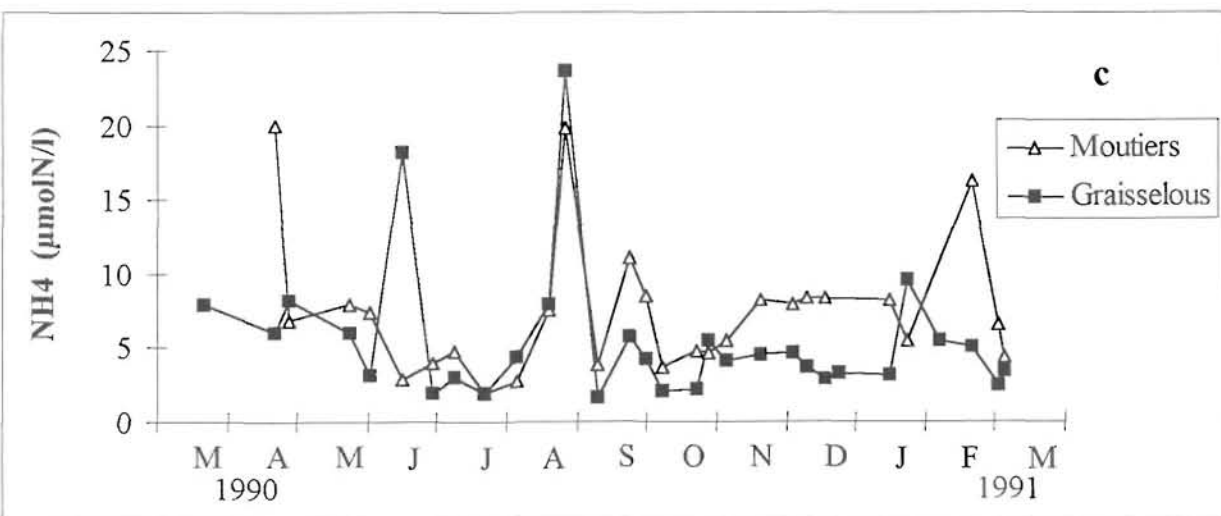
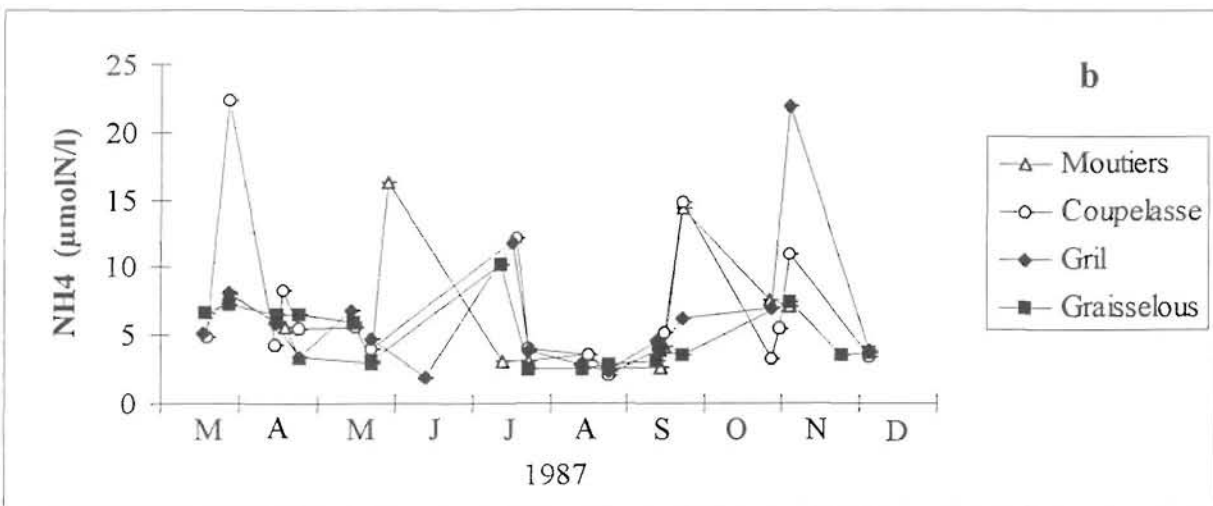
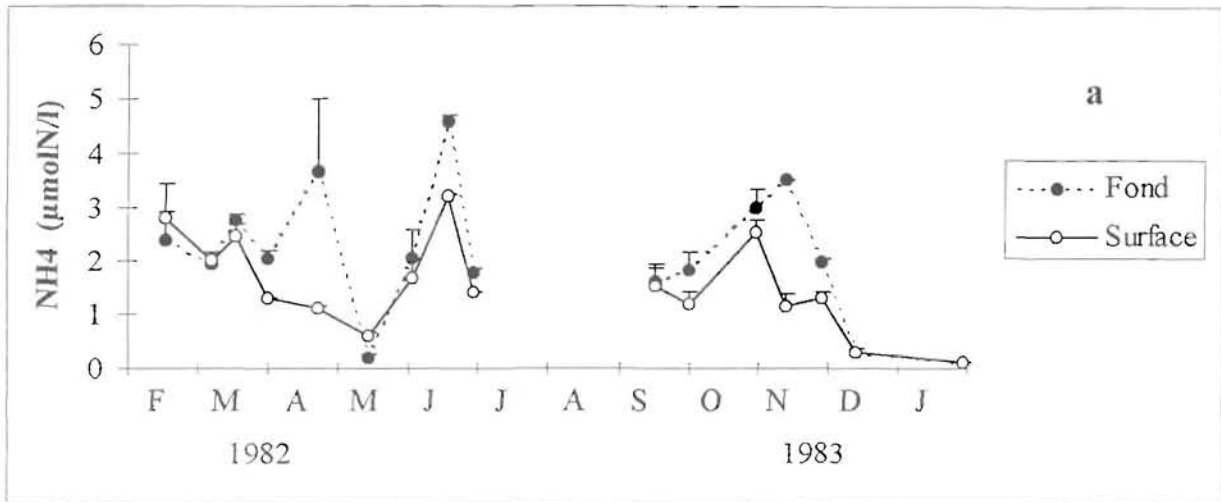


Figure 52: Evolution mensuelle des concentrations en ammonium NH₄ mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1982-83, 1987 et 1990-91.

L'urée

L'urée n'a pas été mesurée en 1982-83. Les ions ammonium sont la forme dominante de l'excrétion des produits du catabolisme des protéines et des acides aminés par les bivalves (Bayne, 1976) et la quantité d'urée excrétée par les huîtres représente moins de 25 % de la quantité d'ammonium (Vincendeau, 1987). Ainsi les très fortes valeurs d'urée rencontrées en période estivale 1987 ($> 200 \mu\text{atgN/l}$) (Fig. 53 a) ne peuvent être le fait de l'excrétion des mollusques. Ces flux d'urée pourraient provenir du rejet ponctuel des stations d'épuration dont la capacité est dépassée par l'afflux touristique estival.

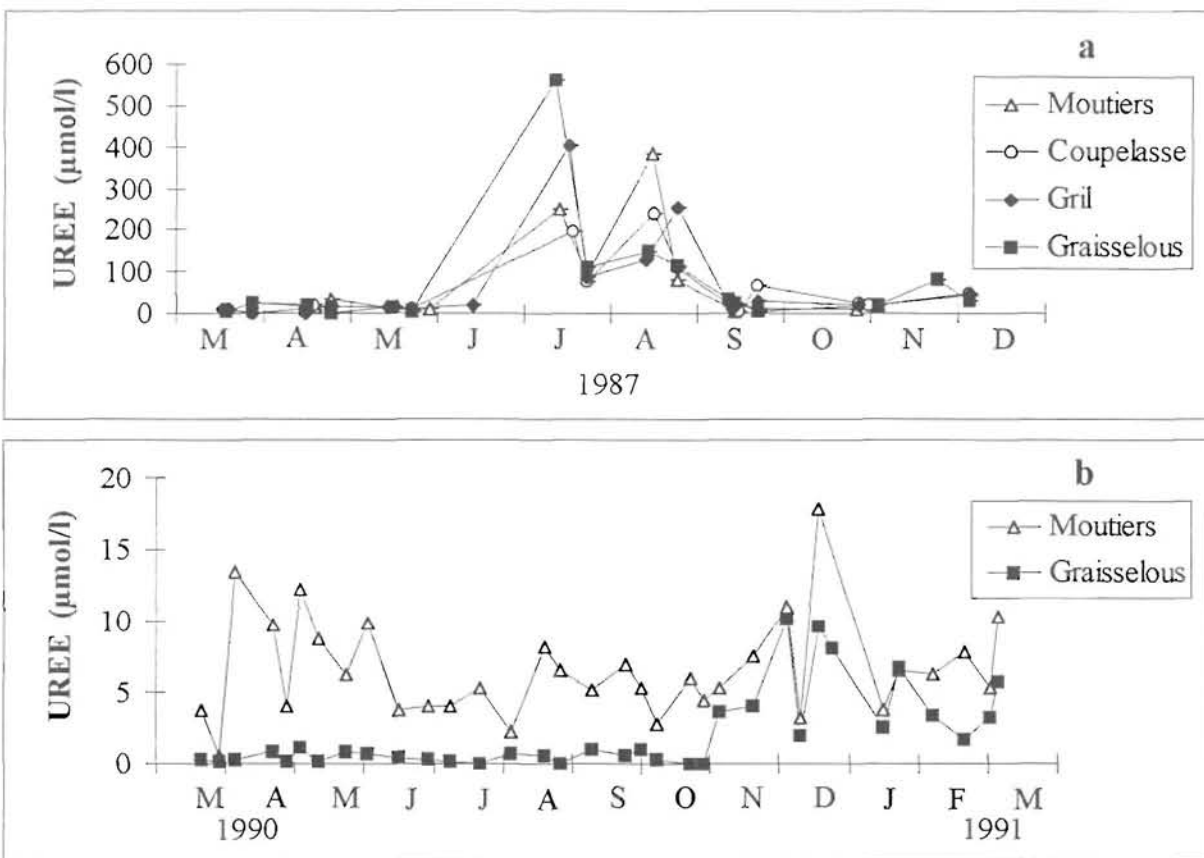


Figure 53: Evolution mensuelle des concentrations en urée mesurées dans la baie de Bourgneuf en 1987 et 1990-91.

Les études du S.M.V.M. sur la qualité des eaux, indiquent que la ville de Noirmoutier est équipée d'une station d'épuration d'une capacité de 33 620 habitants alors que la population estivale est estimée à 71 300 personnes (Annexe 3). Un rejet estival permettrait d'expliquer le gradient sud-nord observé en juillet 1987 dans la baie de Bourgneuf. De même, la station d'épuration qui regroupe les communes de la Bernerie, les Moutiers et Bourgneuf est prévue pour 15 000 habitants alors que la population estivale est estimée à 32 800 personnes (Annexe

3). Un rejet ponctuel de cette station pourrait expliquer le gradient sud-nord observé en août 1987 (Fig. 53 a). Ces pics d'urée n'apparaissent plus en 1990 soit parce que les stations d'épurations ont augmenté leurs capacités soit parce que les prélèvements et les rejets accidentels ne se font pas le même jour (Fig. 53 b). En 1990, les teneurs en urée relevées dans le secteur des Moutiers (4 à 14 $\mu\text{atgN/l}$) sont très supérieures à celles mesurées à Graisselous ($< 1 \mu\text{atgN/l}$) du mois de mars au mois d'octobre (Fig. 53 b). Il est surprenant de constater une telle différence entre les deux sites pour les teneurs en urée car les sels nutritifs sont assez homogènes sur l'ensemble de la baie (Fig. 48 à 52). Les concentrations en urée évoluent de manière inverse à celle de la chlorophylle *a* (Fig. 46). En effet, le phytoplancton est capable d'assimiler l'urée (Mc Cathy, 1972, Slawyk, 1980). L'urée représente plus de 50 % de l'azote inorganique de mai à octobre aux Moutiers et peut donc jouer un rôle non négligeable dans la production phytoplanctonique.

En 1985, Marion (1986) constate en étudiant la fertilité potentielle de l'eau de mer, selon une radiale allant de l'océan vers l'intérieur de la baie de Bourgneuf, que les eaux les plus fertiles se trouvent à proximité des zones de production ostréicole. En effet les bivalves filtreurs excrètent des substances dissoutes azotées et phosphatées qui sont directement assimilables par le phytoplancton (Bayne & Scullard, 1977; Robert *et al.*, 1982; Vincendeau, 1987). Sornin (1981) montre que les mollusques filtreurs produisent de grandes quantités de biodépôts qui enrichissent le milieu en substances dissoutes assimilables par le phytoplancton lorsqu'ils sont minéralisés. Les huîtres ont donc une action négative sur le phytoplancton en le consommant mais elles ont également une action positive sur le développement phytoplanctonique en enrichissant directement ou indirectement le milieu en éléments nutritifs.

V-1-3 Élément nutritif limitant la production primaire en baie de Bourgneuf

L'estimation de la capacité trophique d'un site conchylicole est essentiellement déterminée par sa production primaire. L'identification du ou des facteurs contrôlant cette production s'avère donc nécessaire. Les milieux océaniques sont généralement limités par l'insuffisance d'azote (Le Rouzic, 1993) tandis que les milieux d'eau douce sont limités par l'insuffisance de phosphore (Hecky & Kilham, 1988). L'étude des milieux côtiers sous l'influence directe des eaux continentales est à ce titre très intéressante (Tab. 10).

Sites étudiés	Sels nutritifs limitants	Référence
Claire ostréicoles de Vendée	N	Maestrini & Robert, 1981
Bassin de Marennes-Oléron	N	Ravail, 1993
Pertuis Breton	P	Barillé-Boyer, 1996
Golfe du Morbihan	N, P	Le Rouzic, 1993
Rade de Brest	Si	Hafsaoui, 1984
Manche occidentale	Si	Martin-Jezequel, 1981

Tableau 10: Eléments nutritifs limitant la production primaire microalgale dans différents sites côtiers de la façade océanique française.

L'assimilation de carbone lors de la photosynthèse phytoplanctonique nécessite l'incorporation d'azote et de phosphore avec un rapport molaire C/N/P égal à 108/15/1 (Redfield, 1934, Fleming, 1940). Ce rapport a été vérifié au fil des années pour des populations naturelles en pleine croissance (e.g. Lemasson *et al.*, 1977). Le phytoplancton des milieux côtiers est dominé par les diatomées qui ont besoin de silice dans un rapport molaire P/N/Si de 1/12/11 (Jacques *et al.*, 1976). Des expérimentations d'enrichissements artificiels sur des populations de *Skeletonema costatum* (diatomée phytoplanctonique) ont mis en évidence les éléments nutritifs limitant la production microalgale dans les eaux de la baie de Bourgneuf au cours de l'année 1982 (Marion, 1985). La comparaison des résultats obtenus par enrichissements artificiels et par la technique des rapports (Fig. 54) indique plus de 85 % de concordance entre les résultats. Un rapport molaire P/N/Si de 1/15/12 est donc utilisé pour définir l'élément limitant la production primaire en baie de Bourgneuf.

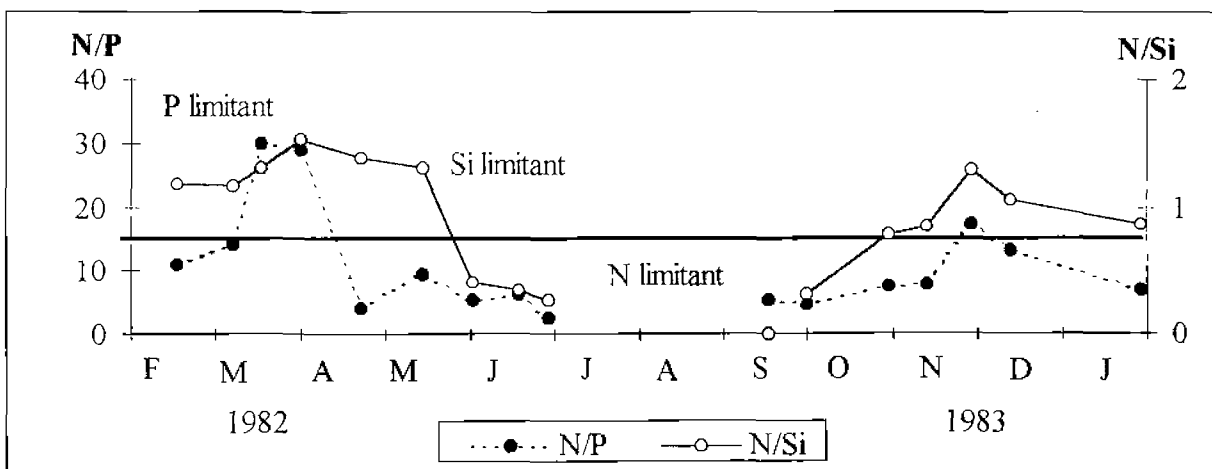


Figure 54: Détermination des éléments nutritifs limitant la production primaire dans la baie de Bourgneuf en 1982-83.

En 1982, la production primaire près du chenal du Fain est limitée par l'insuffisance de silicate du mois de février au mois de mai 1982 et du mois de novembre au mois de janvier 1983 (Fig. 54). L'insuffisance d'azote est déterminante en période estivale de juin à septembre (Fig. 54). En 1987, l'insuffisance en silice limite la production phytoplanctonique tout au long de l'année (Fig. 55). En 1990, l'insuffisance en phosphore limite la production phytoplanctonique tout au long de l'année et de manière très importante du mois de mai au mois de juin (Fig. 56). Ainsi l'élément nutritif limitant la production phytoplanctonique dans la Baie de Bourgneuf varie selon les années.

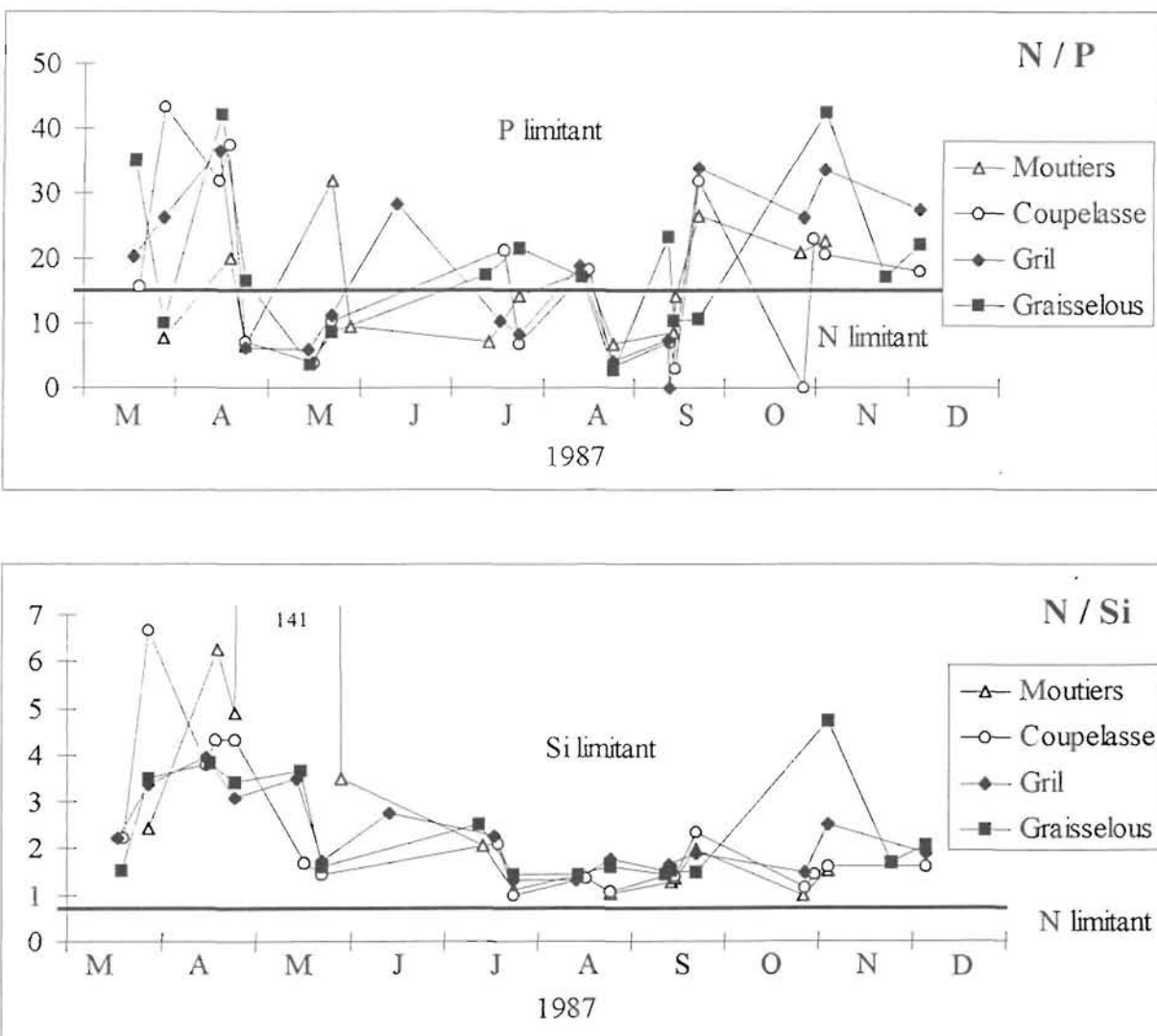


Figure 55: Détermination des éléments nutritifs limitants la production primaire dans la baie de Bourgneuf en 1987.

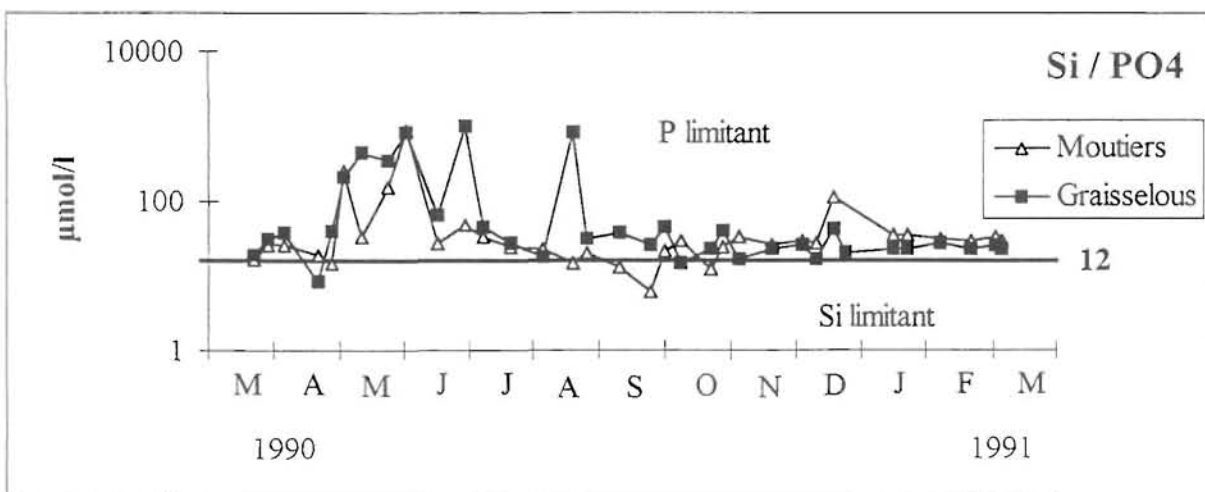
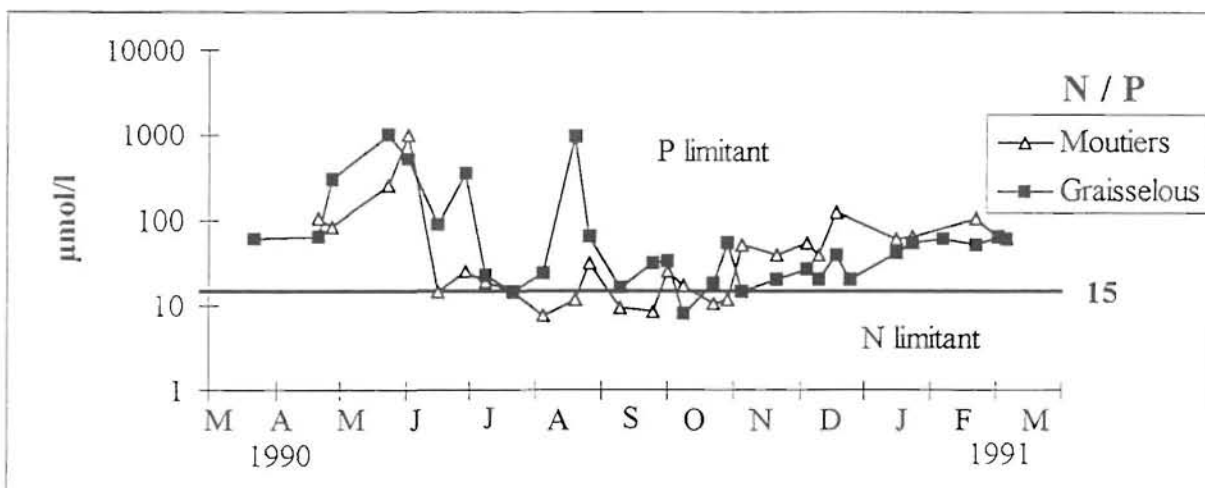
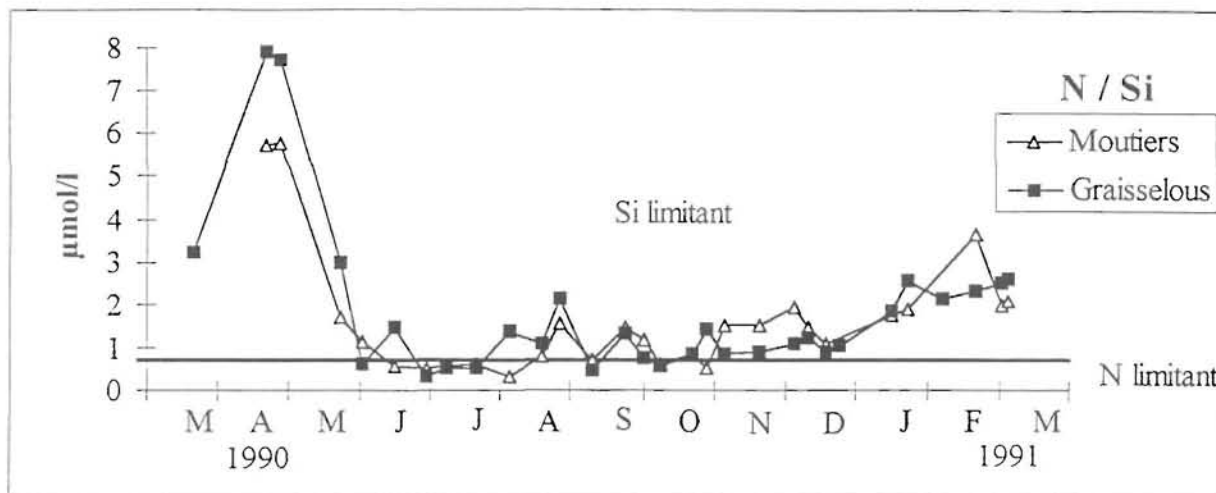


Figure 56: Détermination des éléments nutritifs limitant la production primaire dans la baie de Bourgneuf en 1987.

V-2 Influence de la Loire sur l'hydrobiologie de la baie de Bourgneuf

Dans le chapitre précédent nous avons vu l'influence du débit de la Loire sur la salinité de la baie indiquant que des masses d'eau importantes venues de la Loire pénétraient dans la baie de Bourgneuf. Les fortes teneurs en éléments minéraux dissous véhiculés par la Loire (Sauriau, 1994) devraient donc avoir un impact non négligeable sur l'hydrobiologie de la baie.

V-2-1 Influence des concentrations en éléments nutritifs de l'estuaire de la Loire

Nous avons utilisé les données hydrobiologiques recueillies dans le cadre du RNO (Réseau National d'Observation). Ce suivi hydrobiologique de la qualité du milieu marin consiste à mesurer, entre autres, la salinité et les sels nutritifs dans l'estuaire de la Loire le long d'une radiale de sept points, une fois par mois entre novembre et avril de l'année suivante. Cette stratégie d'échantillonnage permet de tenir compte de la dilution des concentrations fluviales par les masses d'eau océanique. Le schéma de dilution ainsi obtenu prend en général l'allure d'une droite qui fournit une meilleure estimation des concentrations moyennes pour une salinité donnée (une salinité égale à 0 g/l correspond aux apports fluviaux). Les résultats qui suivent, ("valeurs hivernales"), correspondent aux moyennes des concentrations, mesurées entre le mois de novembre de l'année précédente et le mois d'avril d'une année donnée, ramenées à une salinité de 32 g/l (salinité moyenne de la baie de Bourgneuf) grâce aux courbes de dilution (Fig. 57).

Les concentrations hivernales des éléments nutritifs mesurées en Loire montrent de grandes variations annuelles. Les concentrations en nitrates sont généralement comprises entre 30 et 35 $\mu\text{atgN/l}$ avec deux pics en 1986 et 1991 au-delà de 50 $\mu\text{atgN/l}$ (Fig. 57). Les ions ammonium représentent moins de 25 % de l'azote minéral dissous, car leurs concentrations ne dépassent pas 10 $\mu\text{atgN/l}$ (Fig. 57). Les concentrations en phosphore oscillent entre 2,5 et 4,5 $\mu\text{atgP/l}$ sauf en 1990 où elles sont proches de 0 (Fig. 57).

L'insuffisance de phosphore hivernal en Loire en 1990 semble donc responsable de la limitation de la production primaire par le manque de phosphore dans la baie de Bourgneuf en 1990 (Fig. 56). Les deux autres années étudiées, 1982 et 1987 étant limitées par la silice nous manquons de données pour confirmer l'influence de la Loire sur cet élément nutritif.

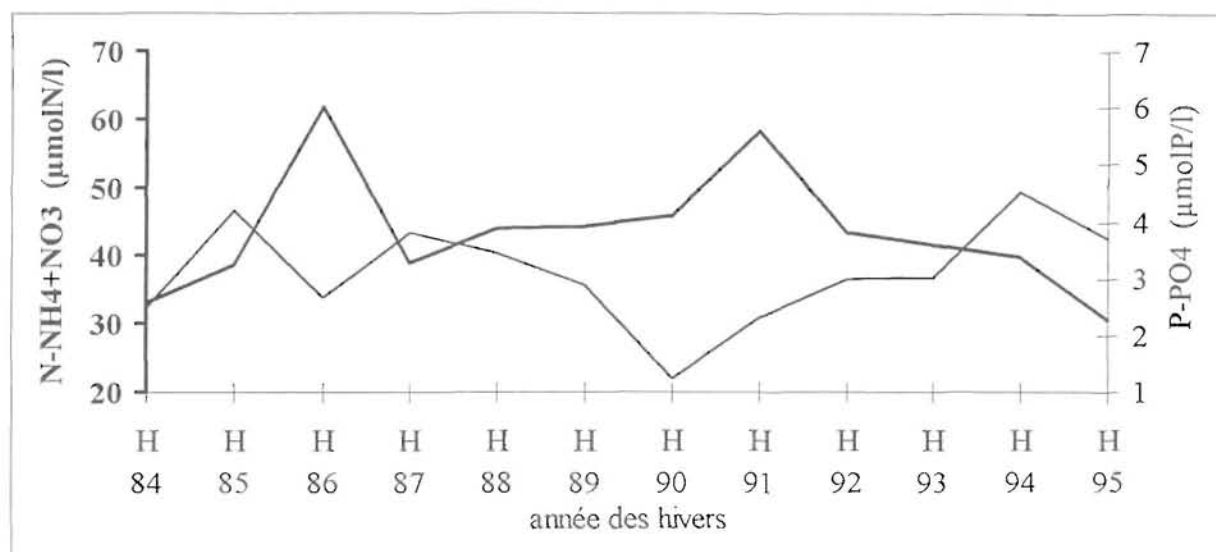


Figure 57: Concentrations hivernales de 1984 à 1995 en azote (en gras) et en phosphore (en fin) dans l'estuaire de la Loire. Données RNO de Nantes.

V-2-2 Influence des débits de la Loire sur les éléments nutritifs de la baie

V-2-2-1 Débits de la Loire

Les débits quotidiens de la Loire, mesurés à la station de Montjean de 1970 à 1995, sont fournis par la DIREN Service de Bassin Loire-Bretagne.

De 1970 à 1995, la variabilité des débits suit une forte composante saisonnière avec des crues de plus de 6 000 m³/s et des étiages très sévères d'environ 100 m³/s comme en 1976, 1989, 1990 et 1991 (Fig. 58 a).

A l'échelle pluriannuelle apparaît un autre cycle de variation (Fig. 58 b). Les années 1971-1976 se caractérisent par des flux liquides annuels relativement moyens (< 30.10⁹ m³). Les années pluvieuses de 1977-1983 ont des flux annuels supérieurs ou égaux à 35.10⁹ m³, avec deux années exceptionnelles en 1977 et 1981. Puis les flux décroissent de 1983 à 1987 et après une année très pluvieuse en 1988 (> 40.10⁹ m³), trois années d'étiage se succèdent (1989, 1990, 1991) avec des flux annuels inférieurs à 15.10⁹ m³. Les années 1992-1993 ont des flux moyens alors que les flux des années 1994-1995 sont supérieurs à 40.10⁹ m³ (Fig. 58 b).

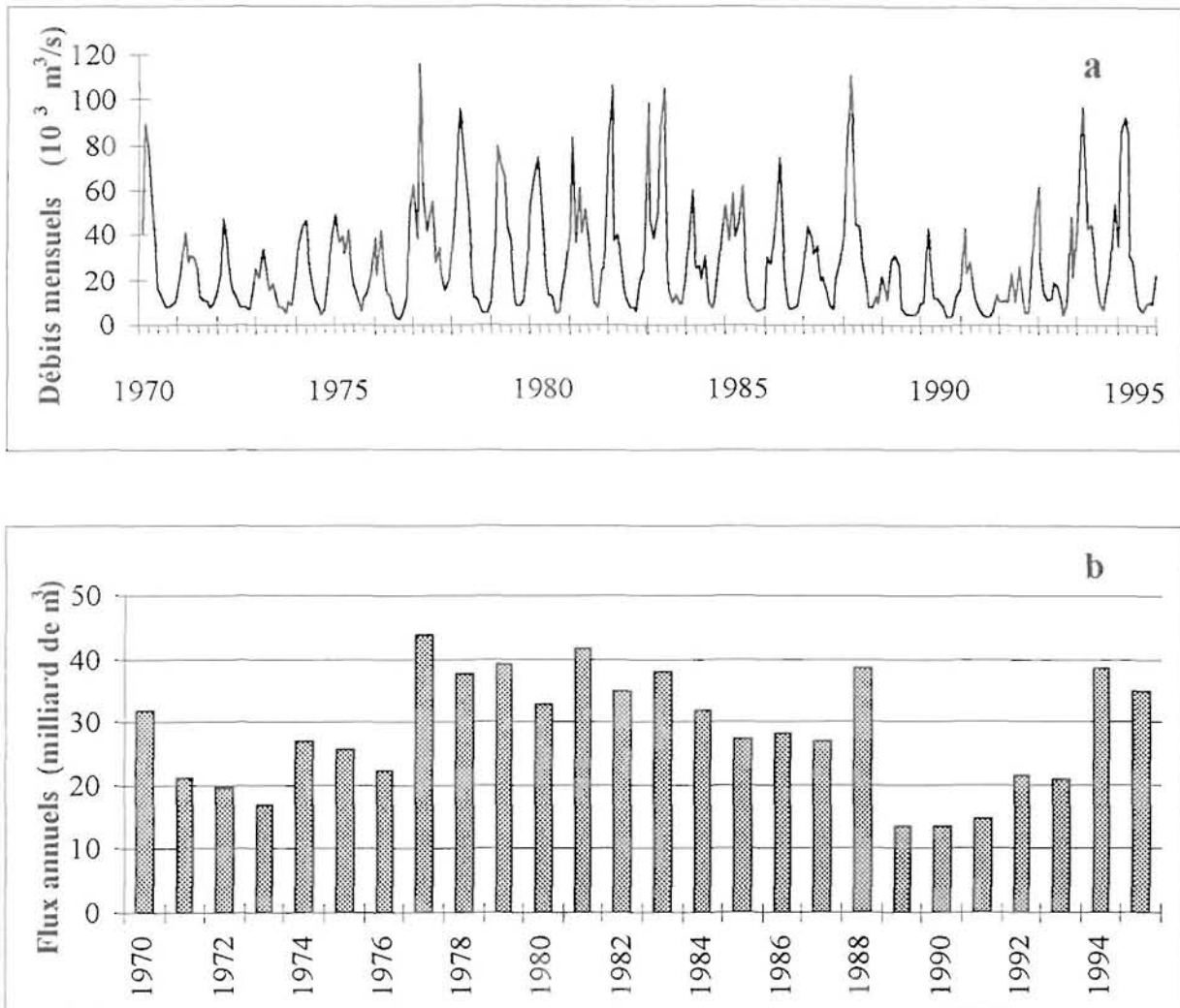


Figure 58: a) débits mensuels de la Loire, b) flux annuel de la Loire, mesurés à la station de Montjean de 1970 à 1995. Données DIREN Service de Bassin Loire-Bretagne.

V-2-2-2 Moyennes annuelles des éléments nutritifs dans la baie de Bourgneuf

Dans le cadre du suivi de la qualité des eaux littorales, la Cellule Qualité des Eaux du Service Maritime de Navigation de Loire-Atlantique (44) effectue des prélèvements mensuels sur les plages de Préfailles, Pornic et de la Bernerie depuis 1982. Ces données concernent, entre autres, les concentrations en éléments nutritifs azotés et phosphorés. Nous avons délibérément choisi de ne pas traiter les données de Pornic qui nous semblent beaucoup trop inféodées aux rejets du canal de Haute Perche et aux activités de cette importante commune. Les moyennes annuelles des concentrations en $\text{N-NH}_4, \text{NO}_3$ et en P-PO_4 mesurées à Préfaille et à la Bernerie depuis 1986 sont présentées dans la figure 59. Les concentrations en éléments

nutritifs dans les deux sites sont très proches bien que Préfaille soit situé à l'entrée de la baie et que la Bernerie soit un site conchylicole au nord est de la baie (Fig. 59 a et b). Cela pourrait indiquer que la même lame d'eau alimente ces deux sites.

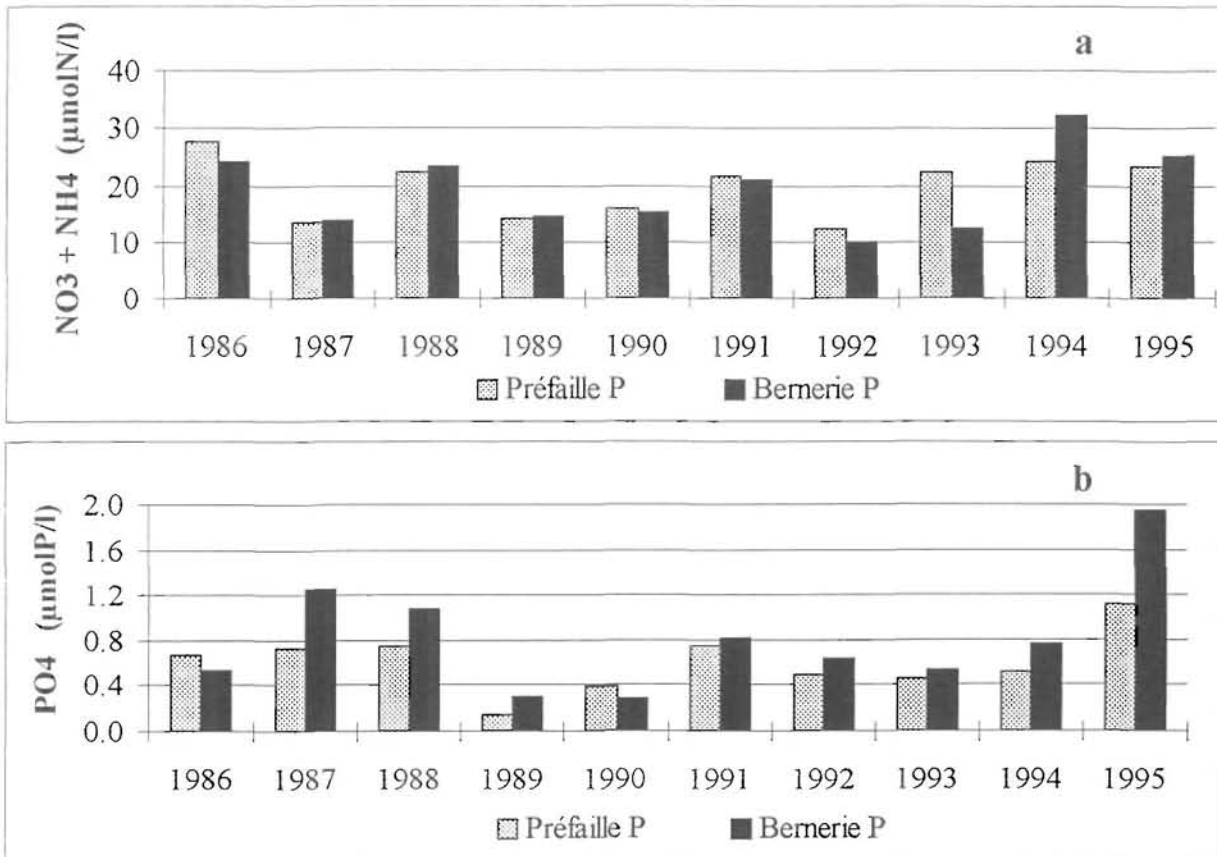


Figure 59: Moyennes annuelles des concentrations en éléments nutritifs mesurées à Préfaille et à la plage de la Bernerie, a) azote, b) phosphate. Données SMN 44.

Les concentrations en azote de la baie de Bourgneuf montrent d'importantes variations annuelles (Fig. 59 a) qui sont très corrélées ($R^2 = 0,64$; $n = 108$; $P < 0,001$) avec les débits mensuels de la Loire (Fig. 60). Les concentrations en PO_4 ne sont pas corrélées avec les débits de la Loire car ils ont la possibilité de se fixer dans les sédiments. Les taux les plus élevés de phosphate des eaux de la Bernerie par rapport aux eaux de Préfaille peuvent s'expliquer par le relargage du phosphore qui est fixé dans les sédiments de la vasière de la Bernerie et/ou par la production directe et indirecte de PO_4 par les huîtres de la Bernerie.

Les apports en éléments nutritifs par la Loire semblent déterminer la potentialité productive de la baie de Bourgneuf et interviennent donc indirectement sur la croissance des

huîtres. Il est donc intéressant de suivre les tendances évolutives de ces flux de sels nutritifs transportés par la Loire.

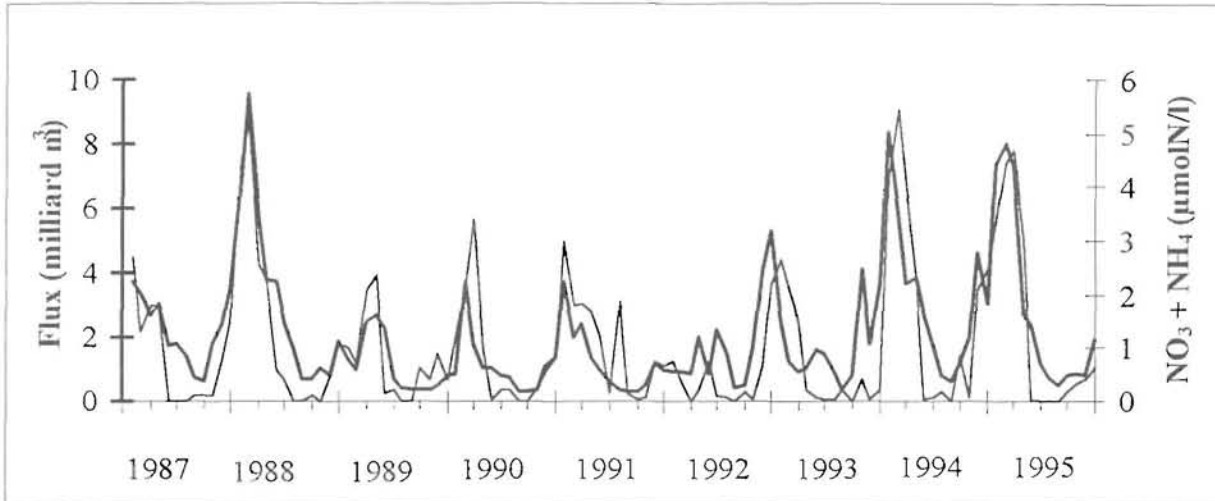


Figure 60: Relation entre les flux mensuels de la Loire mesurés à Montjean (en gras) et les concentrations en azote (en fin) mesurées à la plage de la Bernerie de 1987 à 1995.

V-2-3 Tendances évolutives des sels nutritifs dans l'estuaire de la Loire

V-2-3-1 Apports fluviaux en amont de la ville de Nantes

Un bilan sur l'évolution de 1980 à 1993 de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire a été effectué en 1994 (Sauriau, 1994). L'évolution strictement fluviale est mesurée au site de la Possonnière, entre Nantes et Angers, de manière à être en dehors de toute influence du bouchon vaseux. Les tendances évolutives des apports en éléments nutritifs sont regroupées dans le tableau 11.

<i>Sels nut.</i>	<i>Tendance évolutive de 1981 à 1992</i>	
NO ₃	stabilité des apports sur 1980-1993 (400 00 t/an);	1988 (900 000 t/an)
NH ₄	augmentation depuis 1989 de 2 000 à 4 000 t/an;	1988 (5 000 t/an)
PO ₄	stabilité des apports sur 1980-1993 (8 000 à 10 000 t/an);	1988 (18 000 t/an)
SiO ₂	augmente avec le débit et diminue avec la température; pas de données depuis 1988	

Tableau 11 : Tendances évolutives de 1981 à 1992 des sels nutritifs mesurés au site de la Possonnière (Sauriau, 1994).

Les apports fluviaux d'azote minéral sous la forme NH_4 ont doublé en 10 ans tandis que les autres apports de sels nutritifs semblent constants. L'année 1988 est atypique car cette année de très forte pluviosité succède à quatre années de pluviosité moyenne et semble avoir drainé une grande quantité d'éléments minéraux accumulés dans les sols vers les rivières.

V-2-3-2 Apports de la ville de Nantes

L'impact des rejets urbains de la ville de Nantes est également suivi de 1984 à 1992 (Sauriau, 1994). Les deux principales stations d'épuration Nantaise sont Tougas, créée en 1982 au nord de la ville, et la Petite Californie créée antérieurement plus au sud. La station d'épuration de Tougas n'est équipée que d'un système de décantation primaire qui traite de très gros volumes d'eau oscillant au cours de l'année de 40 000 m^3/j à 130 000 m^3/j ; les rendements épuratoires de l'azote (11 %) et du phosphore total (12 %) sont médiocres. La station de la Petite Californie dispose depuis 1982 d'un déversoir rejetant dans un étier le surplus du volume d'eau à traiter. Ce système permet d'obtenir de bons rendements d'épuration (27 % pour l'azote et 86 % pour le phosphore total) mais la station ne peut pas traiter plus de 800 m^3/h alors que les volumes collectés peuvent atteindre 2 700 m^3/h en période hivernale. Il est donc difficile d'estimer l'impact des eaux collectées à la Petite Californie sur les apports en estuaires.

L'analyse des rejets urbains de 1984 à 1992 montre une augmentation de 50 % sur 10 ans des rejets en azote et une stabilité ou une légère diminution des rejets de phosphore pour la station de Tougas (Sauriau, 1994). Cette diminution serait liée au traitement des matières en suspension et à l'application des consignes de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne afin de limiter l'eutrophisation de la Loire.

La part relative des rejets d'azote urbains Nantais fut négligeable de 1985 à 1988 par rapport aux apports fluviaux de la Poissonnière. Mais le doublement des rejets d'azote, depuis 1988 en provenance de la station de Tougas, représentent un pourcentage en progression qui atteint 20 % des apports d'azote à l'estuaire en 1992. La proportion de rejets en phosphore par la station d'épuration de Tougas représente en moyenne 10 % des apports phosphatés à l'estuaire mais peut atteindre 50 % en période d'étiage sévère comme en 1992 (Sauriau, 1994). Cependant il est à signaler que des travaux considérables sont actuellement effectués sur les stations de Tougas et de la Petite Californie. Ils devraient permettre d'obtenir dès 1998 des rejets d'une teneur en azote totale inférieure à 20mg/l et inférieure à 5 mg/l, en NH_4 .

Par ailleurs cette même filière de traitement devrait permettre également un abattement du phosphore au moins égal à 50%.

Hydrobiologie

Une première étude des paramètres hydrobiologiques de la baie de Bourgneuf a été entreprise sur un point situé sur le "banc des Marsouins", près du chenal du Fain en 1982 (Marion, 1985). Le second suivi hydrobiologique porte sur les quatre sites ostréicoles (les Moutiers, la Coupelasse, le Gril et Graisselous) à proximité immédiate des élevages tests d'huîtres en surélevé, de mars 1987 à novembre 1987 pendant un demi-cycle de marée (Baud *et al.*, 1990). Enfin les deux sites ostréicoles des Moutiers (au nord) et de Graisselous (au sud), sont analysés de mars 1990 à mars 1991, à BM+3.

La salinité, qui varie de 36 g/l en été à 28 g/l en hiver, est en étroite relation avec les débits de la Loire.

La température de l'eau est uniforme sur l'ensemble de la baie avec toutefois une légère augmentation au nord en été à cause du passage de l'eau sur les vasières surchauffées. Elle varie entre 23 °C en été et 4 °C en hiver.

Les quantités de seston remises en suspension sont 3 à 5 fois plus importantes au nord (moyenne 154 mg/l), dans les zones d'estrans vaseux à fort hydrodynamisme qu'au sud de la baie (moyenne 34 mg/l), dans les zones de sédiments plus grossiers et de moindre hydrodynamisme. Aucun cycle saisonnier ne se dégage clairement. En 1987, les concentrations sestoniques sont toujours plus importantes en vives eaux qu'en mortes eaux car la remise en suspension des vasières est générée par les courants de marée. Ce processus est modulé par l'influence du vent qui peut venir grossir le clapot augmentant ainsi l'érosion (Haure & Baud, 1995). Les charges sestoniques relevées en 1990-91 ne montrent pas de relation avec les coefficients de marée car les prélèvements effectués uniquement à BM+3 ne sont pas représentatifs de la charge sestonique journalière. L'importance de la charge sestonique du milieu intervient dans la limitation de la production phytoplanctonique (production de nourriture), dans l'estimation des quantités de microphytobenthos remises en suspension (enrichissement du bol alimentaire des filtreurs) et dans les processus physiologiques de l'huître *Crassostrea gigas* (consommation et assimilation de la nourriture). Actuellement les données récoltées ne permettent pas de comprendre l'évolution saisonnière et quotidienne de la charge sestonique des eaux de la baie de Bourgneuf. Il est donc nécessaire d'entreprendre une étude

annuelle des variations de la turbidité au cours d'un cycle complet de marée sur l'ensemble de la baie.

Dans les milieux estuariens argileux tels que la baie de Bourgneuf, la technique de la "perte-au-feu", utilisée pour estimer la matière organique particulaire (MOP), engendre un biais important. La correction consiste alors à soustraire 8 % du seston minéral à la mesure de MOP estimée par "perte-au-feu". Les valeurs corrigées de MOP montrent un premier pic printanier (20 mg/l) correspondant à l'efflorescence algale et un second pic estival qui permettent d'expliquer les croissances d'huîtres observées pendant ces deux périodes en 1987. De même, la MOP corrigée fait apparaître deux pics estival et automnal en 1990 qui expliquent les croissances observées lors de ces périodes aux Moutiers et à Graisselous

Les mesures de pigments chlorophylliens reflètent un bilan entre une production microalgale et une consommation par les mollusques filtreurs. Les efflorescences phytoplanctoniques de la baie de Bourgneuf présentent un pic restreint au mois d'avril de l'ordre de 25 $\mu\text{g/l}$ dans les trois sites nord et de l'ordre de 10 $\mu\text{g/l}$ dans le site de Graisselous. L'importance et la durée des efflorescences estivales sont très irrégulières selon les années: 7 $\mu\text{g/l}$ en juillet août 1987 et 22 $\mu\text{g/l}$ de juillet à octobre 1990 dans les sites nord; moins de 2,5 $\mu\text{g/l}$ en 1987 et environ 5 $\mu\text{g/l}$ en 1990 dans le site sud. Les fortes concentrations (20-25 $\mu\text{g/l}$) relevées en dehors des périodes d'efflorescence phytoplanctonique dans les sites nord correspondent à du microphytobenthos remis en suspension tandis que les teneurs en chlorophylle des secteurs sud correspondent essentiellement à du phytoplancton. Les importantes concentrations de chlorophylle a, rencontrées en automne 1990 aux Moutiers et à Graisselous, semblent être un phénomène atypique étant donné que les croissances automnales sont généralement très réduites ou négatives.

L'assimilation de carbone lors de la photosynthèse du phytoplancton, nécessite l'incorporation d'azote et de phosphore. Les diatomées, espèces dominantes du phytoplancton dans la baie de Bourgneuf, ont besoin de silicium pour élaborer leur frustule. Les concentrations en NO_3 , PO_4 et SiO_2 , relevées sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf, suivent un cycle annuel classique avec une accumulation des sels nutritifs dans la baie pendant l'hiver et une rapide consommation de ce stock lors du bloom printanier. Les valeurs estivales sont généralement très faibles et le stock d'éléments nutritifs se reconstitue avec les pluies automnales par lessivage des terres agricoles s'il n'y a pas de bloom à cette période. L'évolution

erratique des concentrations de NH_4 au cours de l'année s'explique par l'action combinée de la mollusques. Les très fortes valeurs d'urée rencontrées en période estivale 1987 ($> 200 \mu\text{atgN/l}$) pourraient provenir du rejet ponctuel des stations d'épuration de Noirmoutier et de la Bernerie, dont la capacité est dépassée par l'afflux touristique.

En 1982, la production primaire est limitée par l'insuffisance de silicate d'avril à mai 1982. L'insuffisance d'azote est déterminante en période estivale de juin à septembre 1983. L'insuffisance en silice limite la production phytoplanctonique tout au long de l'année 1987. En 1990, l'insuffisance en phosphore limite la production phytoplanctonique tout au long de l'année et de manière très importante du mois de mai à juin. Ainsi l'élément nutritif limitant la production phytoplanctonique dans la Baie de Bourgneuf varie selon les années.

L'insuffisance de phosphore dans l'estuaire de la Loire pendant l'hiver 1990 (données RNO) semble responsable de la limitation de la production primaire en 1990 dans la baie de Bourgneuf. Les données sont insuffisantes pour connaître l'influence de la Loire sur les apports de silice en baie de Bourgneuf. Les concentrations en azote relevées mensuellement à Préfaïlle et à la Bernerie (données SMN 44) montrent d'importantes variations annuelles qui sont fortement corrélées avec les débits mensuels de la Loire. Les apports en éléments nutritifs par la Loire semblent déterminer la potentialité productive de la baie de Bourgneuf et interviennent donc indirectement sur la croissance des huîtres.

L'évolution, de 1981 à 1992, des apports fluviaux (en amont de Nantes) en sels nutritifs dans l'estuaire de la Loire indique une stabilité des apports en NO_3 (40 000 t/an) et en PO_4 (8 000 à 10 000 t/an) et une augmentation des apports en NH_4 de 2 000 à 4 000 t/an (Sauriau, 1994). A cela s'ajoutent les rejets des deux principales stations d'épuration de la ville de Nantes dont les rejets en azote augmentent jusqu'à atteindre 20 % des apports d'azote à l'estuaire en 1992. La proportion de rejets en phosphore par la station d'épuration de Tougas représente en moyenne 10 % des apports phosphatés à l'estuaire mais peut atteindre 50 % en période d'étiage sévère comme en 1992 (Sauriau, 1994).

VI Analyse des peuplements phytoplanctoniques de la baie de Bourgneuf

Les microalgues constituent l'élément essentiel du régime alimentaire des huîtres. Bien que l'étude de la chlorophylle permette une estimation globale de la biomasse algale, il est intéressant de connaître à quelle espèce d'algue se rapporte cette biomasse. En effet, bien que tous les mécanismes de sélection n'aient pas encore été élucidés, de nombreux auteurs montrent que les filtreurs sont capables de trier leur nourriture. Un des critères de sélection peut être la taille : à forte charge les huîtres ne retiennent que les grosses cellules (Barillé *et al.*, 1993). Les microalgues sont consommées et/ou assimilées différemment par les bivalves selon leurs morphologies (Shumway *et al.*, 1985). Les bivalves sont également sensibles à la nature chimique des microalgues, puisqu'ils sont capables de diminuer ou d'arrêter leur filtration en présence d'algues toxiques (Shumway & Cucci, 1987, Bricelj *et al.*, 1990; Bardouil *et al.*, 1993).

VI-1 Evolution des microalgues de l'océan vers le littoral

La composition spécifique des microalgues est analysée sur une radiale est-ouest au milieu de la baie de Bourgneuf le 9 juin 1983 par Marion (1985). La détermination de la nature benthique ou pélagique des microalgues est effectuée en collaboration avec Rincé de l'université de Nantes. Les résultats de cette étude montrent une augmentation du pourcentage en microphytobenthos au fur et à mesure que l'on se rapproche du littoral. Les microalgues des stations océanique et du chenal du Fain sont essentiellement pélagiques (90 %), représenté majoritairement par *Chaetoceros* et *Rhizosolenia*. La station située à l'est des parcs ostréicoles dénombre 50 % d'algues microphytobenthiques dont les genres dominants sont *Nitzschia* et *Plagiogramma* et 50 % d'algues pélagiques (*Coscinodiscus*, *Rhizosolenia* et *Thalassionema*). Le prélèvement effectué dans le canal d'alimentation du polder de Bouin indique une dominance du microphytobenthos de 70 % (*Nitzschia*, *Navicula* et *Melosira*) contre 30 % d'algues pélagiques (*Rhizosolenia* et *Thalassiosira*).

Il n'y a pas de corrélation entre les concentrations de chlorophylle *a* et le dénombrement cellulaire (Marion, 1985). En effet, les concentrations en chlorophylle *a* diminuent de 5,5 à 2,5 µg/l de l'océan vers le littoral, tandis que le nombre de microalgues s'accroît de 7 millions à 10

millions de cellule par litre. Au niveau des vasières les algues sont donc plus nombreuses mais plus petites. Cela pourrait provenir d'une multiplication active, accrue par la richesse en éléments nutritifs des milieux intertidaux (Marion, 1985), couplée à une consommation préférentielle des grosses algues par les mollusques.

VI-2 Evolution des microalgues du nord vers le sud

La composition spécifique en microalgues est suivie parallèlement aux prélèvements hydrobiologiques effectués sur les quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en vives eaux et en mortes eaux du mois de mars au mois de décembre 1987 (Baud *et al.*, 1990). Seule l'eau prélevée à BM+3 est analysée.

Les diatomées sont dominantes sur toute l'année dans les quatre sites sauf en été où les dinoflagellés, représentés essentiellement par l'espèce *Dissodinium pseudocalani*, atteignent 90 % aux Moutiers (nord), 40 % à la Coupelasse, 60 % au Gril et 50 % à Graisselous (sud) en vives eaux. La proportion de dinoflagellés est plus faible en vives eaux qu'en mortes eaux car ils sont alors dilués par les diatomées remises en suspension. Baud *et al.*, (1990) qualifient le site des Moutiers comme "une zone à haut risque de développement des dinoflagellés en période estivale et en vives eaux". Il pourrait plutôt s'agir d'un apport par les courants de flot de dinoflagellés qui se développent au large de la baie en période estivale, ce qui expliquerait la prépondérance de cette algue dans le site nord, plus sensible à l'influence océanique en raison de la courantologie du bassin.

Les diatomées benthiques, essentiellement représentées par le genre *Plagiogramma* sont majoritaires sur l'ensemble de la baie. Les proportions en diatomées pélagiques (*Chaetoceros*, *Rhizosolenia*) diminuent lors des vives eaux par rapport aux mortes eaux, ce qui pourrait être la conséquence d'une remise en suspension plus importante en vives eaux. D'après Baud *et al.* (1990), "cette mise en place des Pennatophycidés (benthiques) au détriment des Centrophycidées (pélagiques) qui s'accroît du nord vers le sud, serait liée à la charge en mollusques de ces eaux qui va en augmentant: les substances organiques dissoutes joueraient alors un rôle important sur la composition spécifique des peuplements".

VI-3 Evolution saisonnière

L'évolution saisonnière de la composition spécifique des microalgues, suivie en 1982 près du chenal du Fain par Marion (1985), est représentative de celle des eaux du centre de la baie (cf. VI-1). Elle note une nette dominance des espèces néritiques pélagiques auxquelles s'adjoignent accidentellement des espèces océaniques. Ceci confirme le peu de mélange entre les masses d'eau strictement océaniques et les masses d'eau de la baie. Les diatomées représentent entre 88 et 100 % de la population tout au long de l'année. L'efflorescence printanière (chlorophylle *a* : 4 µg/l) est caractérisée par la dominance de diatomées pélagiques: *Guinardia flaccida* en avril, *Rhizosolenia setigira* en mai et *Thalassiosira angstii* en juin. Il n'y a pas de prélèvement estival. En automne, (chlorophylle *a* : 1.5 µg/l), l'algue pélagique *Thalassionema nitzschioides* est dominante. *Thalassiosira angstii* représente l'essentielle des microalgues de février à janvier.

Les travaux de Baud *et al.*, (1990) permettent de suivre l'évolution saisonnière de la population microalgale sur les quatre sites ostréicoles de la baie. L'efflorescence printanière qui a lieu au mois d'avril est essentiellement représentée par les diatomées centriques pélagiques (*Chaetoceros*, *Rhizosolenia*) suivie d'une prédominance des diatomées benthiques (*Plagiogramma*) de mai à juin. En juillet les dinoflagellés constituent l'essentiel des peuplements algaux sauf dans la station du Gril où l'on a 70 % de diatomées pélagiques (*Chaetoceros*, *Rhizosolenia*). Les algues benthiques (*Plagiogramma*) sont majoritaires à la fin de l'été et en automne sauf dans le secteur du Gril où les diatomées pélagiques représentent encore plus de 80 % mais sur de faibles quantités.

En dehors des périodes de bloom, qui sont courtes et de faibles amplitudes en 1987, le microphytobenthos remis en suspension dans la colonne d'eau joue un rôle considérable dans la potentialité nutritive de la baie de Bourgneuf. Le fait de n'étudier la population microalgale qu'à BM+3, en dehors des maxima chlorophylliens BM-1 et BM+1, peut diminuer l'impact du microphytobenthos sur l'enrichissement du bol alimentaire des huîtres.

VI-4 Evolution pluriannuelle en un point

Les données qui constituent ce chapitre sont fournies par le laboratoire DEL de Nantes. Le suivi des populations phytoplanctoniques et de l'apparition d'espèces toxiques est effectué dans le cadre du réseau national de surveillance phytoplanctonique REPHY. Créé en 1984, il

bénéficie d'une base de données informatisée depuis 1987. En cas d'alerte, ce suivi est renforcé au niveau de la fréquence d'échantillonnage et du nombre de points suivis.

En routine, les prélèvements d'eau sont effectués sous la surface à l'aide d'une bouteille à prélèvement de 2 litres, deux fois par mois sur un seul point dans la baie de Bourgneuf: au nord du Gois de 1987 à 1991 et à Maison Blanche (ouest de la ville de Noirmoutier) depuis 1991. Une liste floristique complète et un dénombrement des cellules algales sont effectués au moyen d'un microscope inversé.

Le nombre total de cellules montre de grandes variations annuelles avec des années de croissances microalgales moyennes telles que 1988 et 1995 et des années de fortes productions algales telles que 1993 et 1994 (Fig. 61).

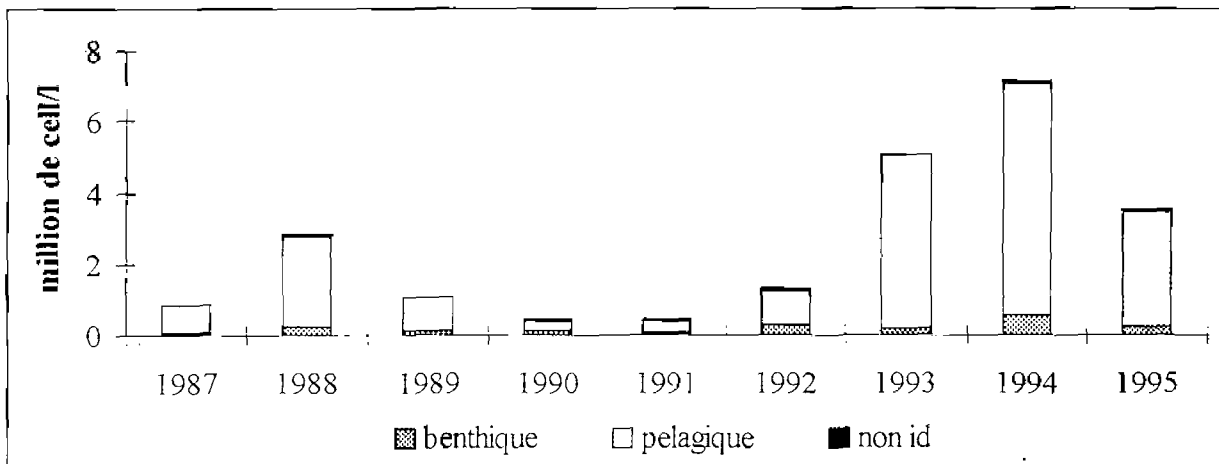


Figure 61: Evolution de 1987 à 1995, de la somme annuelle des microalgues benthiques et pélagiques, rencontrées dans la baie de Bourgneuf, au nord de l'île de Noirmoutier. Données du laboratoire DEL de Nantes.

Les algues pélagiques sont très nettement dominantes car certaines espèces peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers de cellules par litre comme *Asterionella glacialis* 650 000 cell/l le 25 avril 1994. De plus, les prélèvements sont effectués sur des vasières sableuses d'accès facile à pied dans des sites où l'hydrodynamisme est faible (les prélèvements au niveau du Gois se pratiquaient dans une retenue d'eau à marée basse). Si le nombre total de cellules peut être représentatif d'une évolution annuelle, en revanche il semble peu probable d'avoir une juste représentation de la proportion d'algues benthiques ou pélagiques sur l'ensemble de la baie de Bourgneuf dans ces conditions. Il n'existe d'ailleurs aucune relation entre les teneurs en

chlorophylle *a* ou en pigments totaux avec les dénombrements cellulaires effectués approximativement aux mêmes dates en 1987.

La moyenne mensuelle des concentrations cellulaires de 1988 à 1995 indique un cycle saisonnier marqué avec une efflorescence printanière qui se développe d'avril à juin et une production algale au mois de juillet (Fig. 62). En général il n'y a pas de bloom automnal en baie de Bourgneuf.

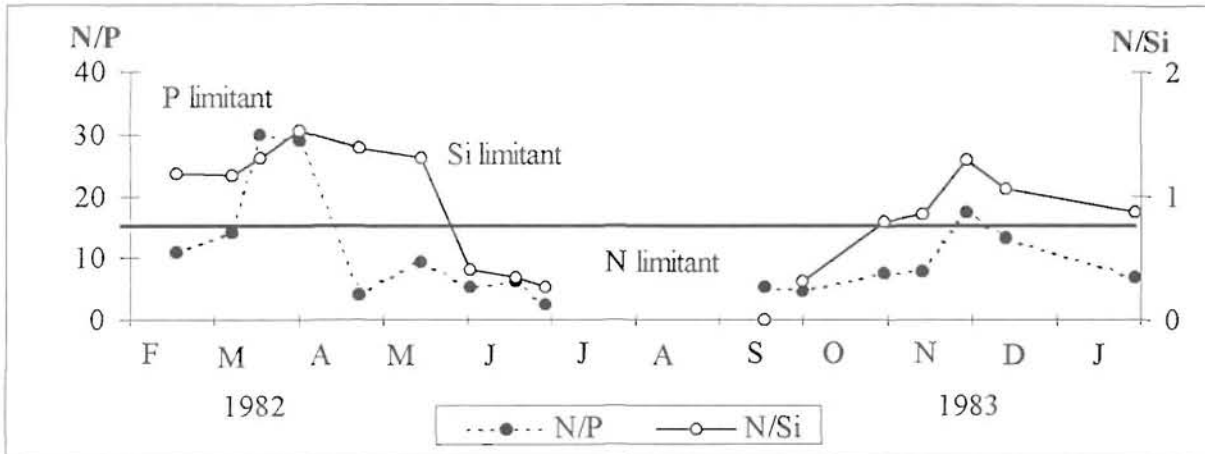


Figure 62: Moyenne mensuelle calculée sur sept ans (1988 à 1995), des concentrations microalgales mesurées dans la baie de Bourgneuf au nord de l'île de Noirmoutier. Données du laboratoire DEL de Nantes.

La répartition mensuelle des diatomées centriques ou pennées montre une très forte dominance des diatomées centriques lors des efflorescences printanières (Fig. 63). L'importance du dénombrement algale de 1994 est dûe pour plus d'un tiers au développement inhabituel de diatomées pennées en avril et en mai (Fig. 63). Les fortes concentrations en *Gymnodinium* qui ont entraîné des mortalités d'huîtres importantes dans la baie apparaissent en juillet 1995 dans les prélèvements du REPHY (Fig. 63).

L'analyse des dominances spécifiques au cours des années ne montre pas de cohérence particulière contrairement à ce à quoi on pourrait s'attendre (Fig. 64). En effet, dans le Pertuis Breton les années de forts développements algaux sont caractérisées par la dominance de la diatomée *Leptocylindricus* tandis que les années de faibles développements algaux sont dominées par *Skeletonema costatum* (Barillé-Boyer, 1996). Les principaux genres présents dans le sud de la baie de Bourgneuf sont *Rhizosolenia*, *Chaetoceros*, *Leptocylindricus* (Fig. 64).

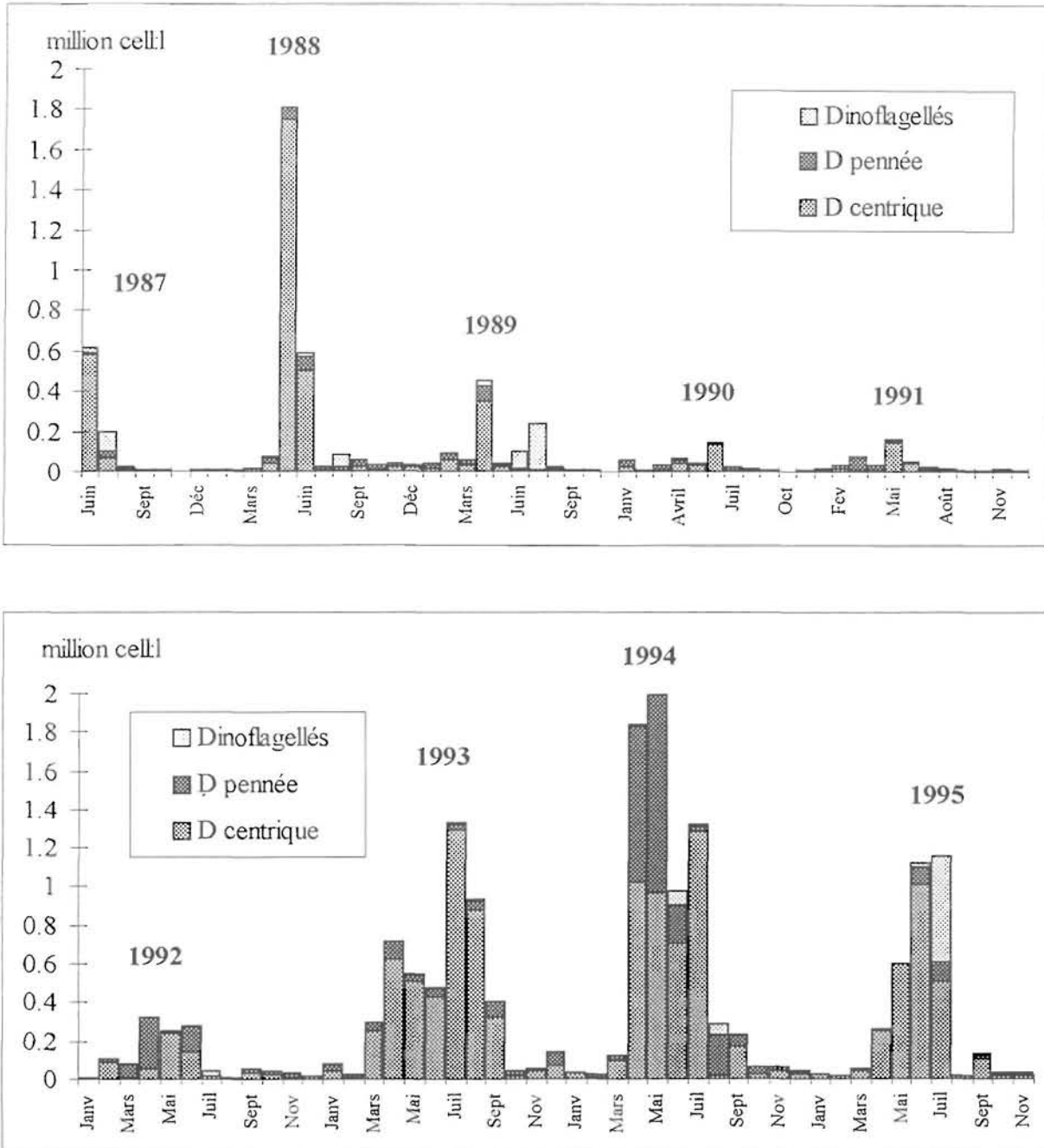
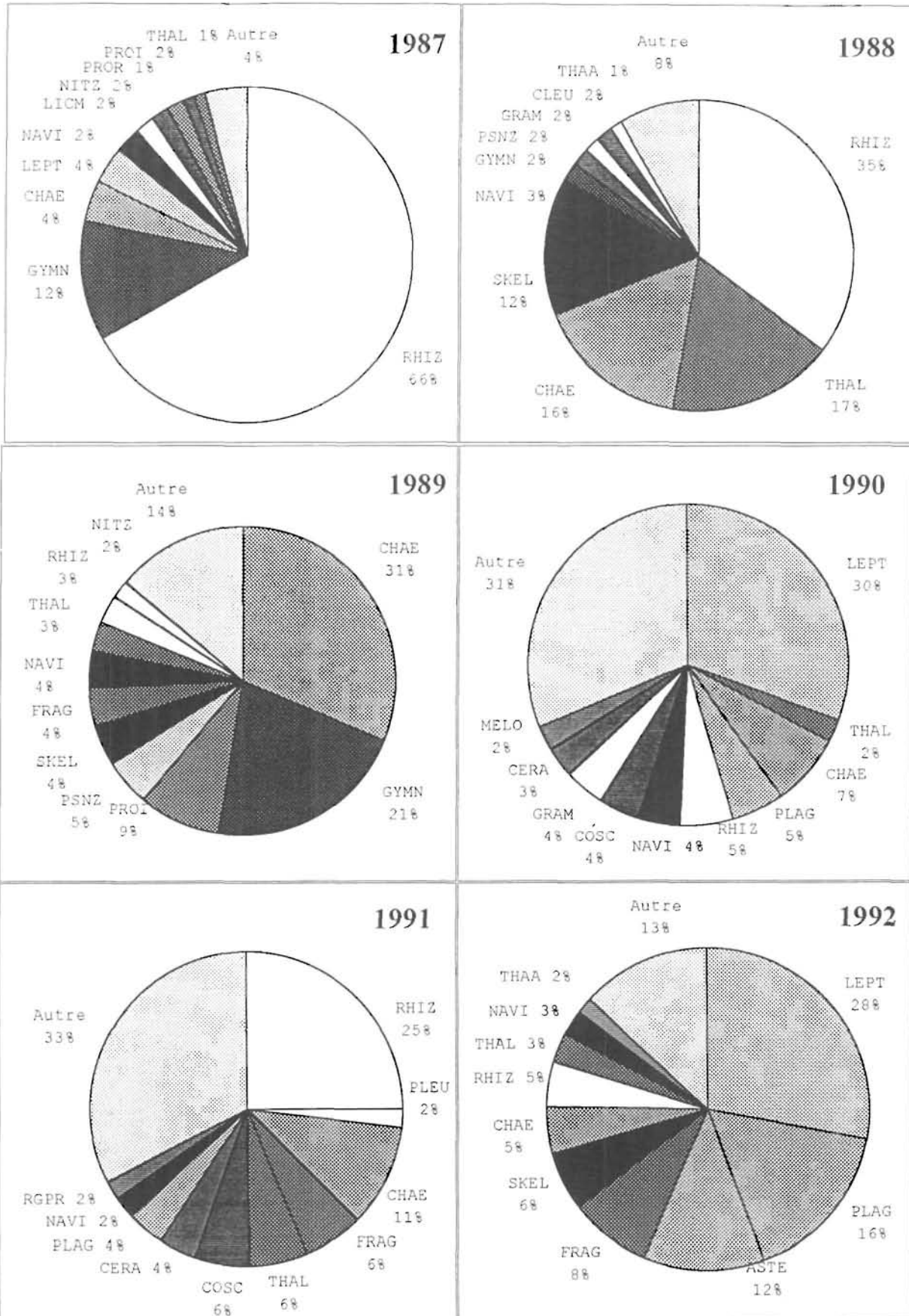


Figure 63: Evolution de 1987 à 1995, de la somme mensuelle des dinoflagellés et des diatomées benthiques et pélagiques, rencontrées dans la baie de Bourgneuf, au nord de l'île de Noirmoutier. Données du laboratoire DEL de Nantes.



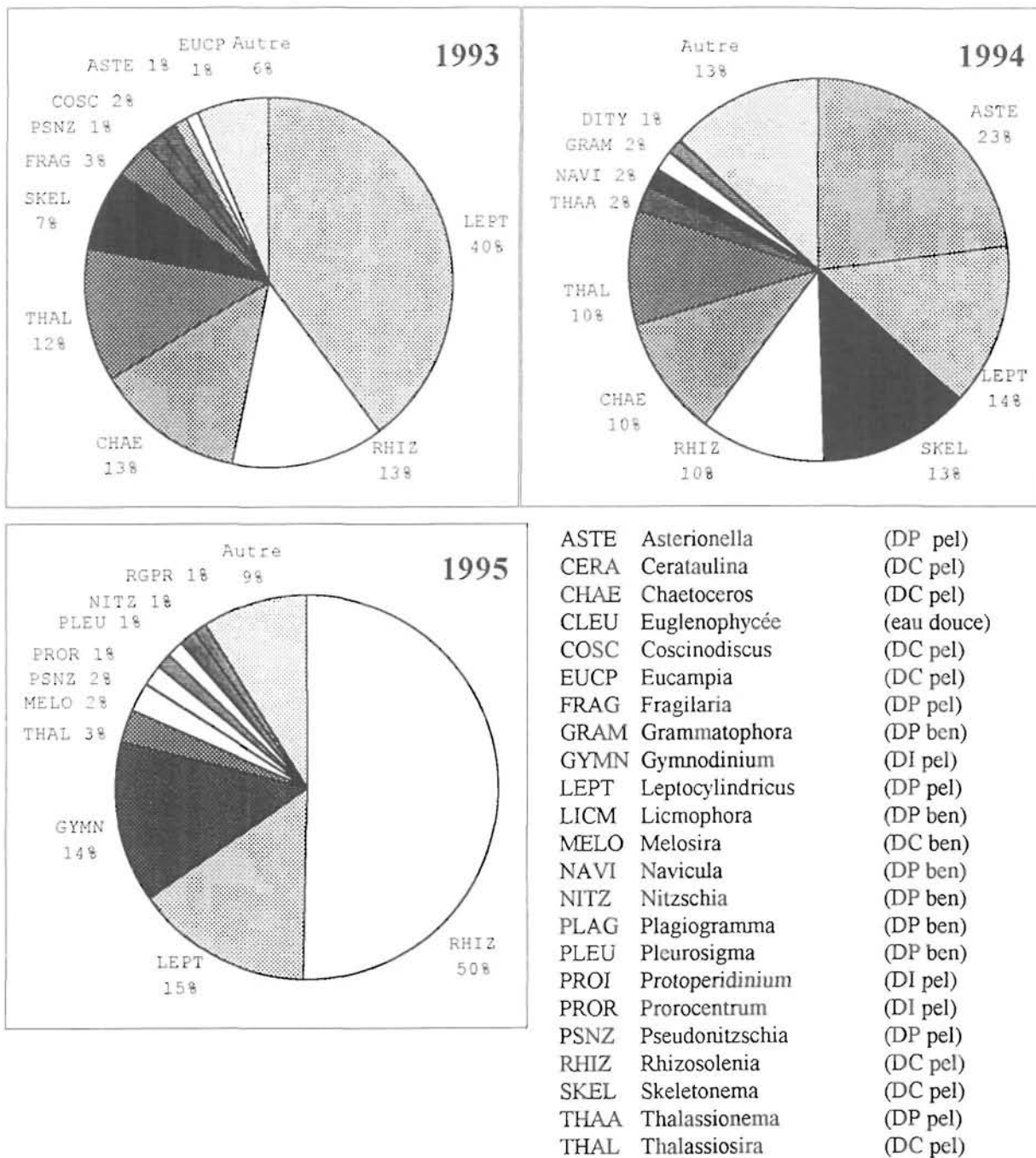


Figure 64: Répartition spécifique annuelle des microalgues, rencontrées dans la baie de Bourgneuf, au nord de l'île de Noirmoutier, par genres dominants, de 1987 à 1995. DC : diatomée centrique; DP: diatomée pennée; DI: dinoflagellés; pel: pélagique; ben: benthique. Données du laboratoire DEL de Nantes.

Analyse des peuplements phytoplanctoniques de la baie de Bourgneuf A retenir

Les huîtres sont capables de consommer et d'assimiler différemment selon les espèces algales.

L'analyse de la composition algale, montre un pourcentage croissant d'algues benthiques, essentiellement représentées par le genre *Plagiogramma*, de l'océan vers la côte, ce qui confirme l'importance de la remise en suspension du microphytobenthos, dans l'alimentation des huîtres de la baie de Bourgneuf. Au niveau des vasières, les algues sont plus nombreuses mais plus petites. Cela pourrait provenir d'une multiplication active accrue par la richesse en éléments nutritifs des milieux intertidaux couplée à une consommation préférentielle des grosses algues par les mollusques.

En 1987, les diatomées sont dominantes sur toute l'année dans les quatre sites sauf en été où ce sont les dinoflagellés, représentés essentiellement par l'espèce *Dissodinium pseudocalani*, qui sont majoritaires avec 90 % aux Moutiers et environ 50 % de la population algale dans les autres sites.

L'évolution saisonnière de la population microalgale des sites conchylicoles de la baie de Bourgneuf est étudiée en 1987. L'efflorescence printanière est essentiellement représentée par les diatomées centriques pélagiques (*Chaetoceros*, *Rhizosolenia*) suivies d'une prédominance des diatomées benthiques (*Plagiogramma*) de mai à juin. En juillet les dinoflagellés constituent l'essentiel des peuplements algaux. Les algues benthiques (*Plagiogramma*) sont majoritaires à la fin de l'été et en automne. En dehors des périodes de bloom, le microphytobenthos remis en suspension dans la colonne d'eau joue un rôle considérable dans la potentialité nutritive de la baie de Bourgneuf. La moyenne mensuelle des concentrations cellulaires de 1988 à 1993, sur un point situé hors des sites de production ostréicole, indique une efflorescence printanière qui se développe d'avril à juin et une production algale au mois de juillet. En général il n'y a pas de bloom automnal en baie de Bourgneuf.

Un dénombrement microalgal est effectué de 1987 à 1995 par le laboratoire DEL de Nantes dans le cadre du réseau REPHY (surveillance des efflorescences toxiques) dans un point situé au sud de la baie. Ce dénombrement bimensuel indique de grandes variations annuelles avec des années de croissances microalgales moyennes telles que 1988 et 1995 et des années de fortes productions algales telles que 1993 et 1994. Il n'y a pas de développement spécifique particulier de dinoflagellés aux mauvaises, moyennes ou bonnes années de développement microalgal.

VII Qualité des mollusques en baie de Bourgneuf

Le Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO) a été mis en place par le Ministère de l'Environnement avec pour objectif l'évaluation des niveaux et des tendances de pollution du milieu marin côtier. Ce suivi est effectué en routine depuis 1979 dans la baie de Bourgneuf par les laboratoires IFREMER DEL de Nantes. La pollution par les métaux lourds et par les polluants organiques est mesurée sur la chair des mollusques filtreurs car ils concentrent les polluants dans certains de leurs organes jusqu'à atteindre un équilibre avec le milieu, ce qui facilite les dosages. De plus, ce phénomène d'accumulation est lent. Plusieurs mois de présence d'un coquillage dans un milieu contaminé sont nécessaires pour que cet équilibre soit atteint. Dans ces conditions, les concentrations mesurées dans les huîtres et les moules sont représentatives de l'état chronique du milieu littoral, ce qui permet de s'affranchir des fluctuations rapides de celui-ci. Dans la baie de Bourgneuf, les mesures sont effectuées, une fois par trimestre sur les huîtres de la Coupelasse et de Graisselous. Les caractéristiques des différents polluants ont été décrites par Claisse *et al.* (1995).

L'évolution annuelle des concentrations en métaux lourds (mercure (Hg), cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn), cuivre (Cu)) est présentée dans la figure 65. De 1980 à 1985 ces concentrations varient selon les années. Depuis 1986, elles ont tendance soit à se stabiliser (Zn, Cu, Hg, Pb) soit à diminuer (Cd). Selon le classement défini par Joanny *et al.*, 1993 en fonction des niveaux de pollution chimique habituellement rencontrés sur l'ensemble du littoral français, les eaux de la baie de Bourgneuf sont de bonne qualité en ce qui concerne le zinc, le cuivre et le mercure, et de très bonne qualité pour le cadmium et le plomb.

Les principales utilisations du cadmium sont les traitements de surface (cadmiage), la fabrication d'accumulateurs et la production de pigments colorés destinés surtout aux matières plastiques. La réglementation sur l'utilisation du cadmium en ce qui concerne notamment la fabrication d'accumulateurs est sans doute la raison de la diminution observée depuis 1991.

Le zinc a des usages voisins de ceux du cadmium auxquels il faut ajouter les peintures antirouille et l'industrie pharmaceutique. Il est peu toxique pour l'homme mais peut perturber la croissance des larves d'huîtres.

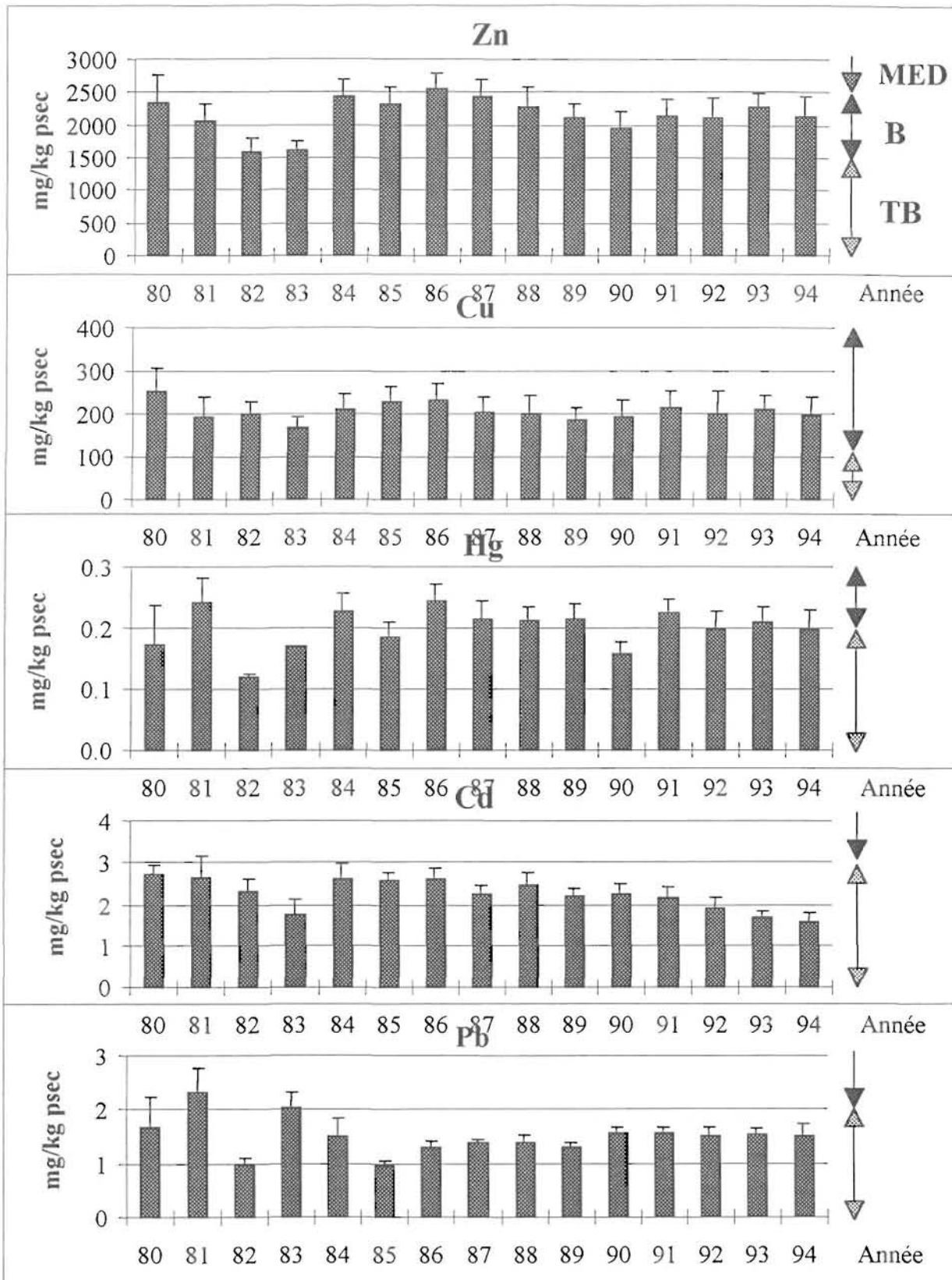


Figure 65: Evolution annuelle de la contamination par les métaux lourds des huîtres de la baie de Bourgneuf. Les flèches indiquent la qualité Très Bon, Bon, Médiocre et Mauvais, en partant du bas vers le haut, selon le classement de Joanny *et al.*, 1993.

Le mercure est très toxique en raison de son assimilation facile par les organismes vivants. Au-dessous de 0,6 mg/kg de poids sec de mercure dans les moules ou dans les huîtres, le niveau de contamination est considéré comme faible par les conventions d'Oslo et de Paris.

Le plomb est un métal toxique utilisé principalement dans la fabrication des accumulateurs et comme antidétonant dans les carburants. En dehors des rejets industriels bien identifiés, les apports atmosphériques diffus sont une source très importante d'introduction du plomb dans le milieu marin. Les effets de la généralisation de l'essence sans plomb ne se font pas encore sentir dans la baie de Bourgneuf.

La toxicité du cuivre est utilisée notamment dans les peintures antisalissures pour les coques des navires (antifouling) surtout depuis l'interdiction des peintures à base de tributylétain (TBT) pour les bateaux de moins de 25 m.

L'évolution annuelle des concentrations en polluants organiques (polychlorobiphényles (PCB), DDT, DDD, DDE, lindane (γ HCH, α HCH, hydrocarbures polyaromatiques (PAH)) est présentée dans la figure 66. Les années 1993 et 1994 ont de "très bonnes" qualités d'eau selon la classification RNO, sauf en 1993 pour le lindane.

La toxicité et la rémanence des insecticides à base de DDT et de ses métabolites DDD et DDE, ont conduit à une interdiction de leur utilisation depuis 1972. Pourtant c'est seulement vers le milieu des années 1980 qu'une forte tendance à la baisse a commencé à se dessiner.

Les PCB sont des composés organochlorés très rémanents dont la toxicité a conduit à en réglementer l'usage. Ils ne subsistent plus que comme isolants caloporteurs et diélectriques dans des transformateurs et gros condensateurs anciens et sont beaucoup moins abondants dans le milieu depuis 1991.

Les PAH entrent pour 15 à 30 % dans la composition des pétroles bruts. Moins biodégradables que les autres hydrocarbures, ils restent plus longtemps dans le milieu. Ils sont stabilisés à un très faible niveau depuis 1990.

Le lindane (γ HCH) est un insecticide organochloré largement utilisé jusqu'à ces dernières années. Les concentrations de 1993 (qualité médiocre), deux fois plus importantes que les teneurs habituelles peuvent être dûes à une activité agricole particulière ou aux traitements contre les termites. L' α HCH est un sous-produit de la fabrication du lindane, sans activité insecticide. Les produits commerciaux doivent avoir au moins 99 % de l'isomère γ

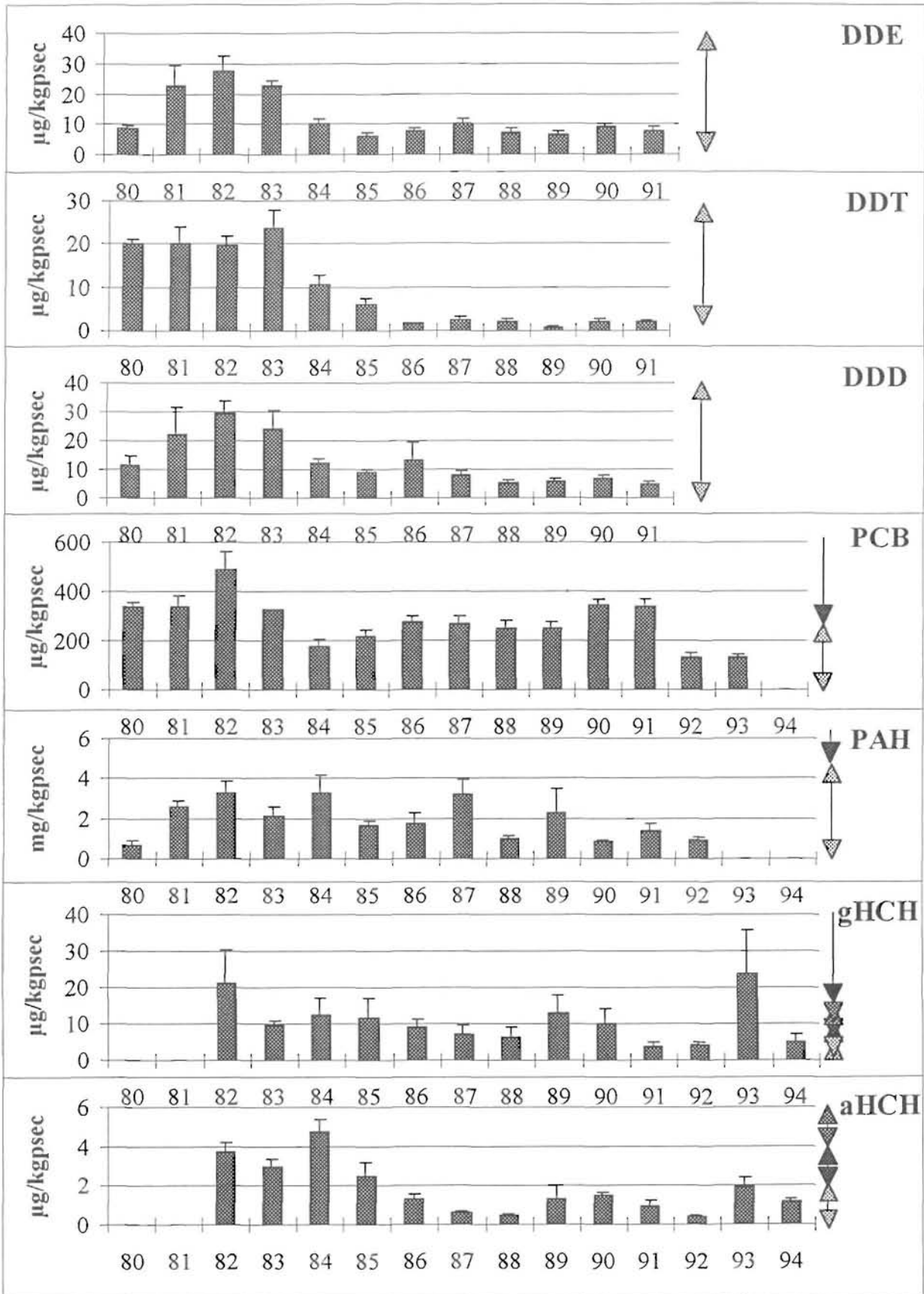


Figure 66: Evolution annuelle de la contamination des huîtres de la baie de Bourgneuf par les polluants organiques. Les flèches indiquent la qualité Très Bon, Bon, Médiocre et Mauvais.

pour avoir droit à l'appellation "lindane". La contamination par α HCH suit donc le même profil

que le γ HCH. Il est difficile d'analyser l'impact de l'estuaire de la Loire dans les apports de contaminants chimiques dans la baie de Bourgneuf dans la mesure où ce sont des moules qui sont suivies dans l'estuaire de la Loire et des huîtres dans la baie de Bourgneuf. En effet, ces deux mollusques filtreurs n'ont pas la même capacité de bioaccumulation notamment pour le zinc, le cadmium et le cuivre. D'autre part, les concentrations en polluants dans la chair des animaux varient selon un cycle saisonnier marqué (Fig. 67 et 68), lié aux périodes d'accumulation de réserves, de maturation, de ponte et de croissance des mollusques. Or les moules pondent généralement vers mai-juin tandis que les huîtres pondent plutôt au mois d'août. Il serait donc intéressant de ne suivre qu'un seul type de mollusque de manière à pouvoir comparer tous les sites étudiés entre eux.

L'examen des résultats acquis par le RNO sur les moules de l'estuaire de la Loire montre que la qualité des eaux de celui-ci est "bonne" en ce qui concerne les taux de Zn, Cu, Cd, Pb et PCB avec des tendances à la diminution. Elle est "bonne" pour les γ HCH et α HCH avec des variations annuelles. Pour le reste des polluants, les eaux de Loire sont de "très bonne" qualité selon le classement de Joanny *et al.*, 1993.

Une comparaison de la teneur moyenne de pollution de 1979 à 1993 entre les différents sites conchylicoles et estuariers de la côte française a été effectuée par Claisse *et al.*, (1995). Les résultats concernant la baie de Bourgneuf, le Pertuis Breton, le bassin de Marennes-Oléron et le bassin d'Arcachon (mesuré sur l'huître *Crassostrea gigas*), sont résumés dans le tableau 12.

site	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	PCB	α HCH	γ HCH	DDT	PAH
Pertuis Breton	=	+	=	+	=	=	+	++	++	+
Marennes-Oléron	+	+++	=	+	+	=	++++	+	++	=
Arcachon	=	=	-	=	-	=	-	-	++	=

Tableau 12: Comparaison des teneurs moyennes de 1979 à 1993 en polluants chimiques de trois bassins ostréicoles avec les teneurs moyennes de la baie de Bourgneuf. = : teneur équivalente; + teneur supérieure; ++ teneur supérieure au double des teneurs de la baie de Bourgneuf, - : teneur inférieure.

La qualité des eaux du Pertuis Breton est légèrement moins bonne que celle des eaux de la baie de Bourgneuf notamment en ce qui concerne le lindane et le DDT et ses dérivés. Les

eaux du bassin de Marennes-Oléron sont généralement plus polluées que celles de la baie de Bourgneuf avec de très fortes concentrations en cadmium, lindane et DDT (DDD, DDE). La qualité des eaux du bassin d'Arcachon est sensiblement meilleure que celle de la baie de Bourgneuf sauf en ce qui concerne le DDT (DDE, DDD) où les concentrations ont été jusqu'à trois fois plus importantes mais sont en diminution rapide.

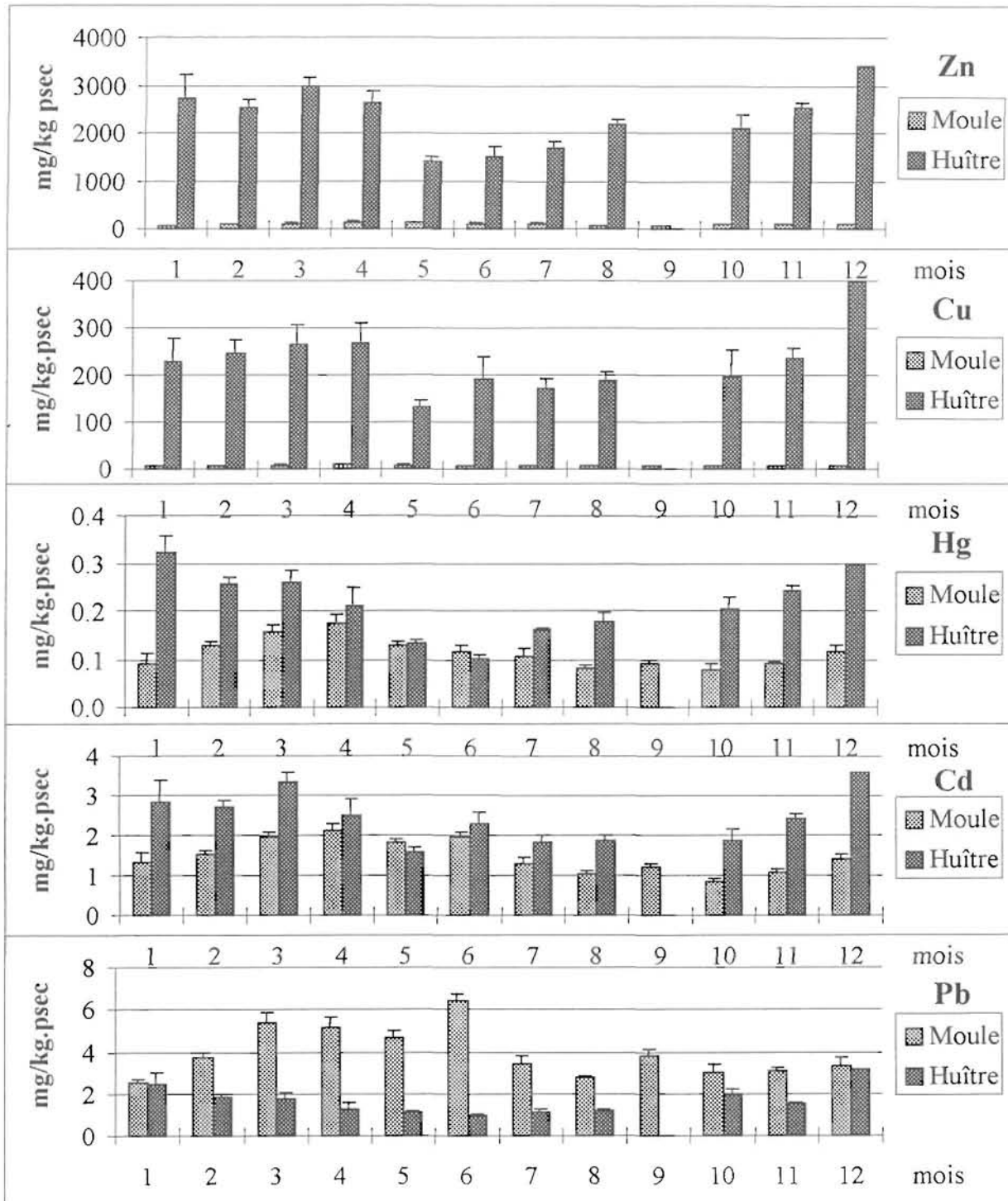


Figure 67: Cycle mensuel d'accumulation des métaux lourds chez la moule et chez l'huître. Moyennes mensuelles calculées sur 15 ans (1980 à 1994).

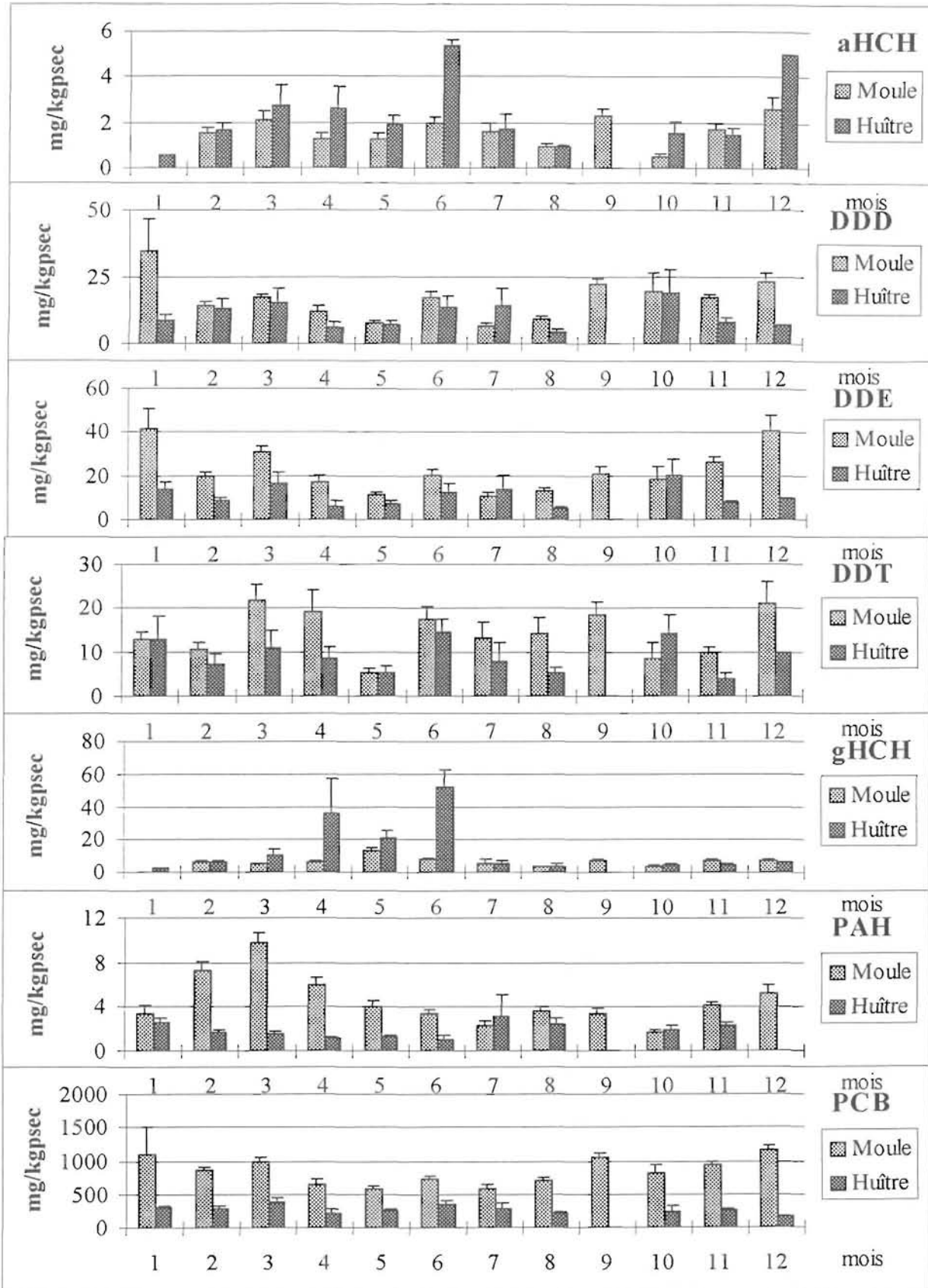


Figure 68: Cycle mensuel d'accumulation des contaminants organiques chez la moule et chez l'huître. Moyennes mensuelles calculées sur 15 ans (1980 à 1994).

Qualité des mollusques de la baie de Bourgneuf

A retenir

Le suivi de la qualité du milieu marin (RNO) est effectué en routine depuis 1979 dans la baie de Bourgneuf par les laboratoires IFREMER DEL de Nantes.

De 1980 à 1985 ces concentrations varient selon les années. Depuis 1986, les concentrations en métaux lourds ont tendance soit à se stabiliser (zinc, cuivre, mercure, plomb) soit à diminuer (cadmium). Les eaux de la baie de Bourgneuf sont de bonne qualité en ce qui concerne le zinc, le cuivre et le mercure, et de très bonne qualité pour le cadmium et le plomb.

L'évolution des concentrations en polluants organiques (polychlorobiphényles (PCB), DDT, DDD, DDE, lindane (Γ HCH, α HCH, hydrocarbure polyaromatiques (PAH)) montre une tendance à la diminution. Les années 1993 et 1994 ont de "très bonne" qualité d'eau sauf pour le lindane dont les fortes concentrations en 1993 pourraient provenir d'une activité agricole particulière ou de campagnes de traitements contre les termites.

Il est difficile d'analyser l'impact de l'estuaire de la Loire dans les apports de contaminants chimiques dans la baie de Bourgneuf car le suivi porte sur des moules dans le premier cas et sur des huîtres dans le second cas. Il serait donc intéressant de ne suivre qu'un seul type de mollusque de manière à pouvoir comparer tous les sites étudiés entre eux.

En 1994, la qualité de l'estuaire de la Loire est "bonne" (Zn, Cu, Cd, Pb, PCB, Γ HCH et α HCH) ou "très bonne" (Hg, DDT, PAH) selon les critères selon Joanny *et al.*, 1993.

La qualité des eaux du Pertuis Breton est légèrement moins bonne que celle des eaux de la baie de Bourgneuf notamment en ce qui concerne le lindane et le DDT et ses dérivés. Les eaux du bassin de Marennes-Oléron sont généralement plus polluées que celles de la baie de Bourgneuf avec de très fortes concentrations en cadmium, lindane et DDT (DDD, DDE). La qualité des eaux du bassin d'Arcachon est sensiblement meilleure que celle de la baie de Bourgneuf sauf en ce qui concerne le DDT (DDE, DDD).

VIII - Influence de la météorologie sur la baie de Bourgneuf

Les caractéristiques hydrobiologiques du milieu estuarien sont soumises aux influences des variations des conditions météorologiques qui interviennent par voie de conséquence sur les performances de croissance des huîtres cultivées. Nous avons vu dans le chapitre IV, que les variations interannuelles des performances de croissance des huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf étaient beaucoup plus importantes que les variations intersites au sein de la baie. Ceci laisse supposer que des facteurs d'amplitude annuelle et d'emprise spatiale très large, tels que les facteurs météorologiques, peuvent être responsables de ces variations de croissance.

Les paramètres météorologiques quotidiens sont fournis par les stations Météo France de l'île d'Yeu, Nantes et St Nazaire auxquels s'ajoutent les précipitations mesurées sur l'île de Noirmoutier, Bouin et Beauvoir.

VIII-1 Cycle saisonnier

Les moyennes mensuelles calculées sur une période de 10 ans, 1985 à 1995, montrent un cycle saisonnier très marqué pour chacun des paramètres météorologiques étudiés (Fig. 69). La faiblesse des écarts-types indique la régularité annuelle de ce cycle sauf en ce qui concerne les précipitations (Fig. 69 e).

Les températures mensuelles de l'air atteignent un minimum de 6 °C pendant le mois de février et un maximum de 19 °C pendant les mois de juillet-août (Fig. 69 a). L'amplitude des variations thermiques annuelle est plus importante à l'intérieur des terres (Nantes) que sur l'île d'Yeu en raison de l'inertie thermique de l'océan.

Le rayonnement est minimal pendant le mois de décembre ($< 400 \text{ J/cm}^2$) et maximal en juin ($> 2000 \text{ J/cm}^2$) (Fig. 69 b). Le rayonnement est plus important en mer car il y a la réflectance de la lumière sur l'eau et les gaz, qui absorbent une partie du rayonnement dans une ville telle que Nantes alors que ceux ci sont moins importants dans les zones peu habitées. Le nombre d'heures d'insolation varie de 2 h/j en janvier et décembre, à 7 h/j à St Nazaire, 8 h/j à Nantes et 9 h/j à l'île d'Yeu en plein été (Fig. 69 c). Cela s'explique par une nébulosité plus importante à St Nazaire.

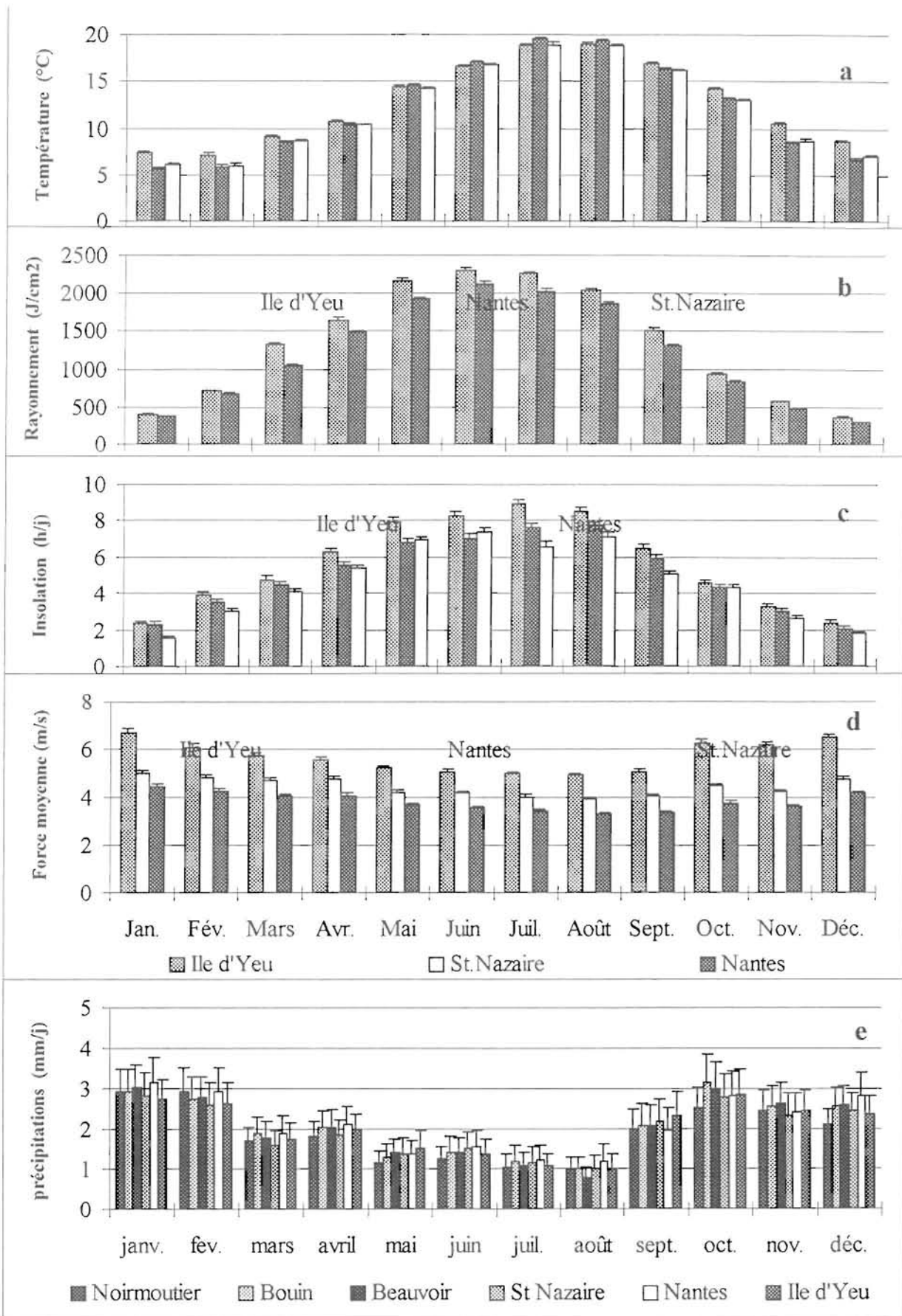


Figure 69: Evolution mensuelle des paramètres météorologiques. Moyennes sur 11 ans.

Les vents sont plus forts en mer (île d'Yeu) que dans les terres (Nantes) (Fig. 69 d). A l'île d'Yeu, la moyenne journalière de la force des vents est supérieure à 6,5 m/s en janvier et ne descend pas en dessous de 5 m/s même en été. D'avril à septembre, les vents dominants sont de secteur NW tandis que le reste de l'année ils sont plutôt de secteur ENE (Annexe 2).

En ce qui concerne les précipitations, l'importance des variations interannuelles, visualisées par les écarts-types, masque les différences entre les stations météorologiques étudiées (Fig. 69 e). Les précipitations sont minimales en août (1 mm/j, en moyenne) et maximales aux mois d'octobre et de janvier (3 mm/j, en moyenne) (Fig. 69 e).

VIII-2 Variations annuelles des paramètres météorologiques

Une analyse de variance à deux facteurs (stations et années), effectuée sur les 12 valeurs mensuelles pour chaque année (de 1985 à 1995) et dans chaque station météorologique, sur le logiciel de statistique SigmaStat, permet de mettre en évidence s'il existe une différence significative entre les stations ou entre les années pour chacun des paramètres météorologiques étudiés. Les résultats sont présentés dans le tableau 13. Seules les températures mensuelles, n'ont pas pu être normalisées et le test statistique n'a donc pas pu être appliqué de manière fiable à ce paramètre.

<i>Paramètres</i>	<i>différence significative</i>
Rayonnement	NS
Insolation	NS
Force moyenne des vents	stations, (***)
Force maximale des vents	stations, (***)
Direction des vents maximaux	stations, (***)
Précipitation	années, (***)

Tableau 13: Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (station et année) sur les moyennes mensuelles des paramètres météorologiques relevés de 1985 à 1995 aux stations de l'île d'Yeu, Nantes, St. Nazaire (et Bouin, Beauvoir et Noirmoutier pour les précipitations). NS= non significatif, (***)= significatif au seuil de 1%.

Les températures mesurées aux différentes stations météorologiques présentent des variations annuelles importantes (Fig. 70 a) avec des hivers très rigoureux en 1986, 1987 1991 et 1992 ou des maxima estivaux inférieurs à la moyenne en 1986, 1988 et 1993.

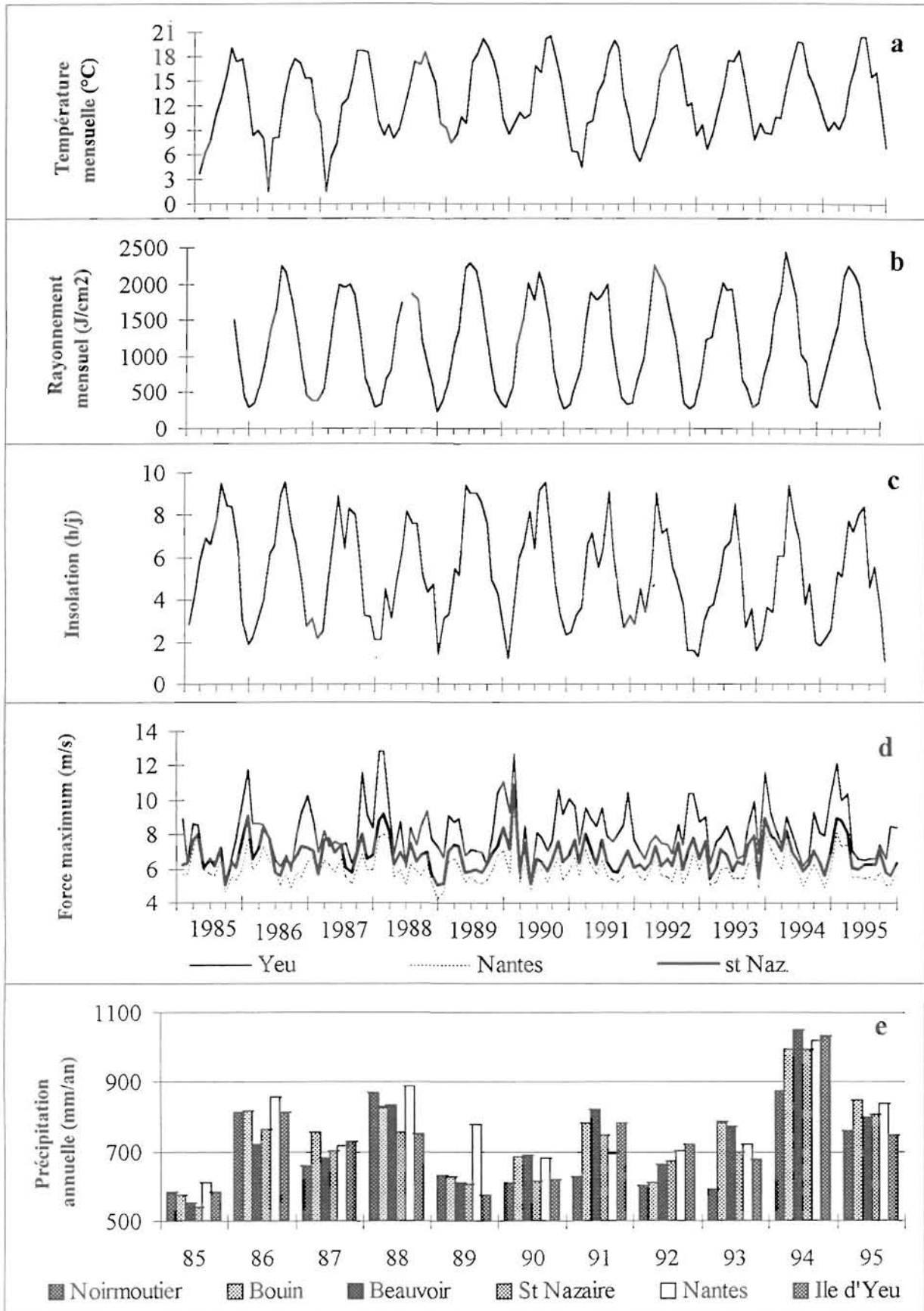


Figure 70: Evolution annuelle de 1985 à 1995 des paramètres météorologiques.

Le rayonnement et l'insolation quotidiens ne présentent pas de différence significative entre les stations ou entre les années (Tab. 13; Fig. 70 b et c).

Les différentes composantes du vent sont significativement différentes (Tab. 13) selon les stations météorologiques de l'île d'Yeu, Nantes, St. Nazaire (Fig. 70 d). Pour la suite de cette étude nous ne prendrons en considération que les vents mesurés à l'île d'Yeu, qui semblent avoir plus d'importance sur l'hydrobiologie de la baie de Bourgneuf, puisque l'ouverture océanique est orientée à l'ouest. Les différences interannuelles significatives pourraient être masquées par la grande variabilité intra-annuelle de ce paramètre.

Les précipitations sont significativement différentes selon les années mais pas selon les stations (Tab. 13; Fig. 70 e). Dans la suite de cet exposé, les précipitations seront moyennées sur l'ensemble des stations météorologiques. Il manque certaines données en ce qui concerne l'année 1985. Les années 1987, 1989, 1990 et 1992 sont de faible pluviosité. L'année 1994 se caractérise par de très abondantes précipitations.

Haure et Baud (1995) montrent que les vents de secteur NNW sont en partie responsables de la remise en suspension du sédiment des vasières situées au nord de la baie. Ce phénomène avait déjà été observé par Gouleau (1975). Afin de prendre en compte l'importance des variations annuelles du vent sur cette remise en suspension une nouvelle variable météorologique est créée : l'effetRS. Chaque donnée trihoraire (6 par jour) de vent donnée par la station météorologique de l'île d'Yeu, est décomposée en une force (exprimée en m/s) et en une direction (exprimée en radian par rapport au nord). L'effet RS (Remise en Suspension des sédiments) est calculé selon la formule suivante:

$$\text{effetRS} = \text{force} * \cos(\text{direction} - 5,1)$$

Ainsi calculé, l'effetRS est maximal pour des vents de NNW. Les moyennes mensuelles de l'effetRS calculées à partir des données quotidiennes de 1985 à 1995 indiquent une action importante de ce facteur pendant les mois de juin à août (Fig. 71 a). Les moyennes annuelles montrent de grandes variations avec des années où l'action des vents sur la remise en suspension du sédiment de la baie de Bourgneuf est très importante (1986, 1988, 1990 et 1994) (Fig. 71 b).

L'introduction des eaux de la Loire dans la baie de Bourgneuf serait favorisée par des vents de NNW (Gouleau, 1975). Une seconde variable (VentLoire) correspond au produit des débits de Loire avec les effetsRS seulement si ces derniers sont positifs. L'évolution mensuelle calculée quotidiennement de 1985 à 1995 montre une très nette influence du débit de la Loire sur cette variable avec des valeurs beaucoup plus fortes en période de crue

hivernale (Fig. 72 a). L'évolution des moyennes annuelles montre que 1988, 1994 et 1995 sont propices à l'introduction des eaux de la Loire dans la baie de Bourgneuf (Fig. 72 b).

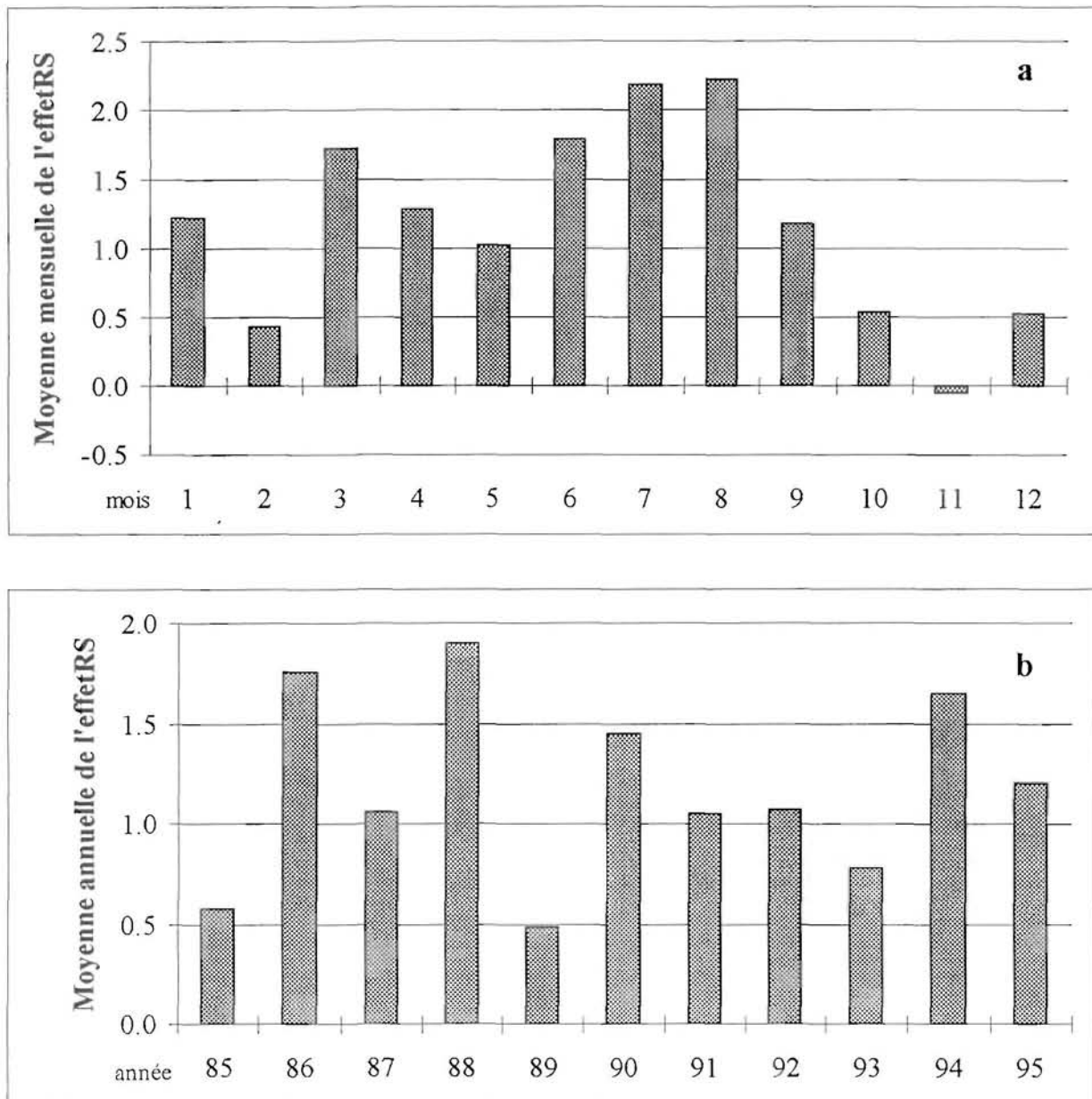


Figure 71: Effet du vent sur la remise en suspension du sédiment des vasières dans la baie de Bourgneuf (effetRS), a) moyennes mensuelles calculées sur 11 ans de 1985 à 1995, b) moyennes annuelles de 1985 à 1995.

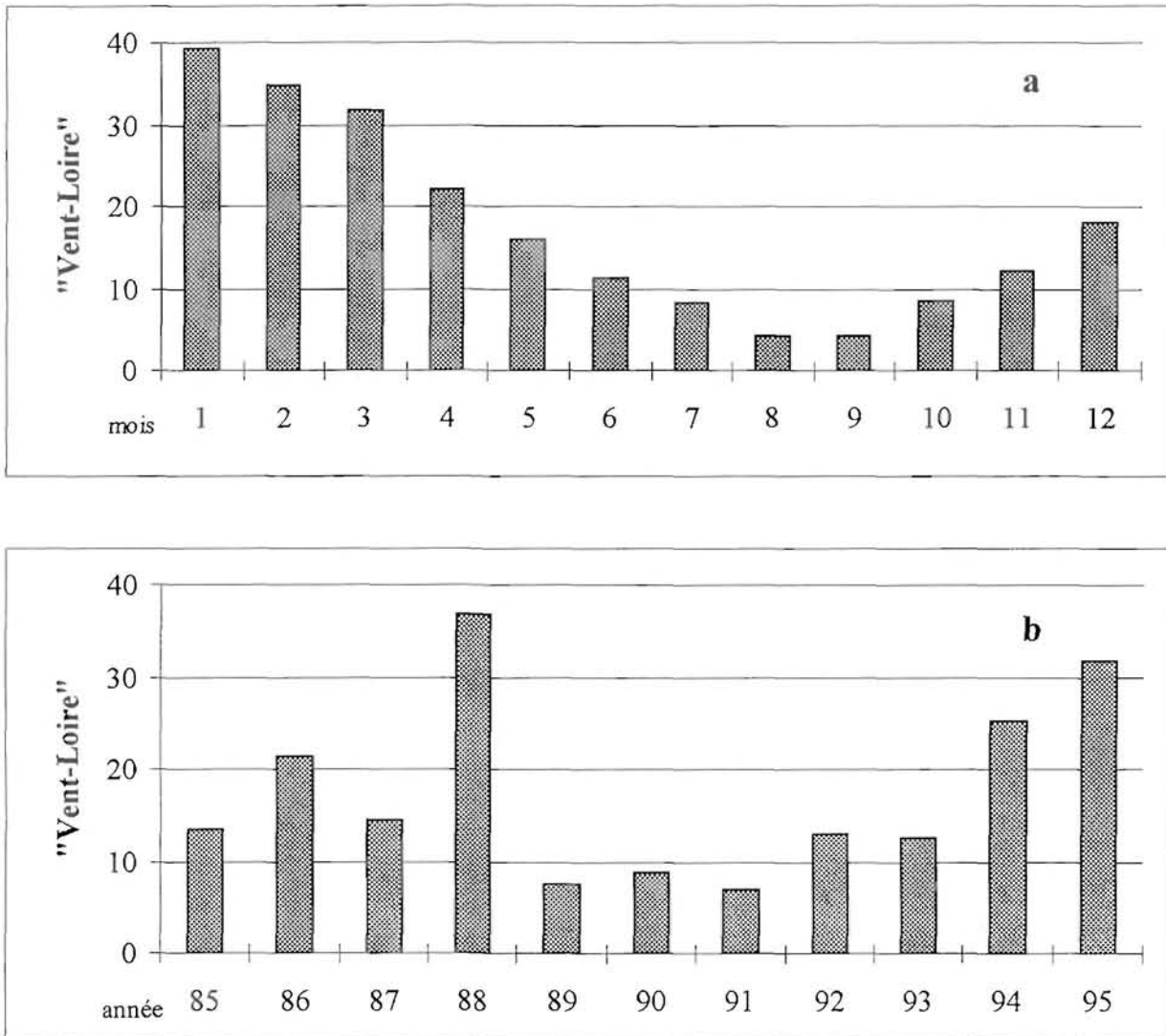


Figure 72: Effet du vent sur la pénétration de la Loire dans la baie de Bourgneuf (Vent-Loire), a) moyennes mensuelles calculées sur 11 ans de 1985 à 1995, b) moyennes annuelles de 1985 à 1995.

VIII-3 Relation entre les précipitations et le débit de la Loire

Il existe une relation significative ($R^2 = 0,68$; $n = 10$; $P < 0,05$) entre les précipitations annuelles et le flux annuel de la Loire de 1986 à 1995 (Fig. 73):

$$\text{flux annuel}(\text{milliard } m^3) = 0,0759 (\pm 0,0185) \text{ précipit. an}(mm) - 31,95 (\pm 14,09)$$

Plus précisément, les flux mensuels de la Loire sont fortement corrélés ($R^2 = 0,66$, $n = 119$; $P < 0,01$) avec les précipitations cumulées sur 5 mois (4 mois précédents et le mois en cours) (Fig. 74):

$$\text{flux mensuel}(\text{milliard } m^3) = 0,0136 (\pm 0,0009) \text{ précipit. 5mois}(mm) - 2,1533 (\pm 0,2976)$$

Curieusement, les précipitations relevées en fin d'année 1991 n'ont apparemment pas d'influence sur les flux de la Loire. D'autre part, pendant les années de moindre pluviosité, 1989, 1990, 1991 et 1992, il semble qu'une plus grande proportion d'eau soit retenue par les sols et les flux sont moins importants que ceux prédits par le modèle linéaire (Fig. 74).

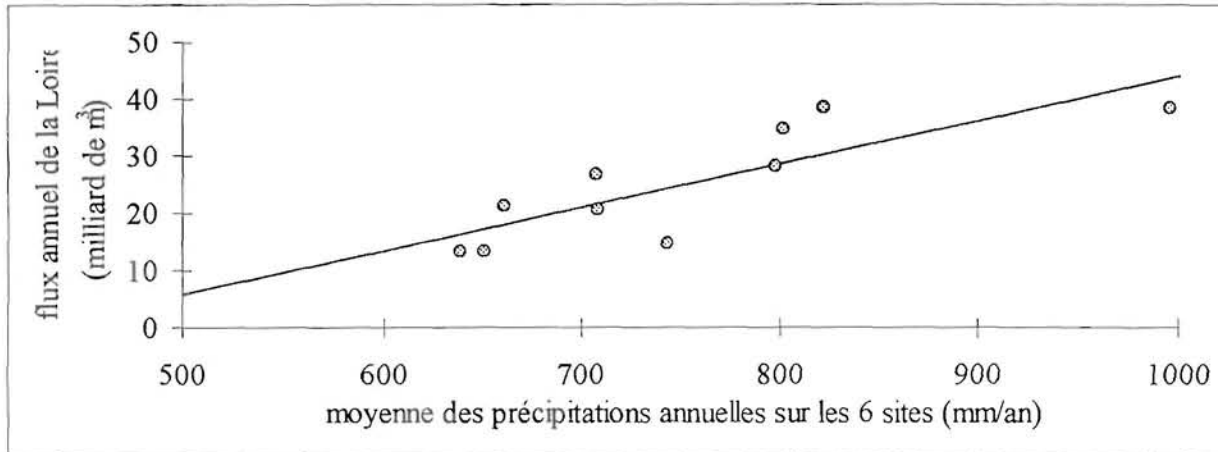


Figure 73: Relation entre les précipitations annuelles sur le bassin versant de la baie de Bourgneuf et le flux annuel de la Loire ($R^2 = 0,68$; $n = 9$, $P < 0,05$).

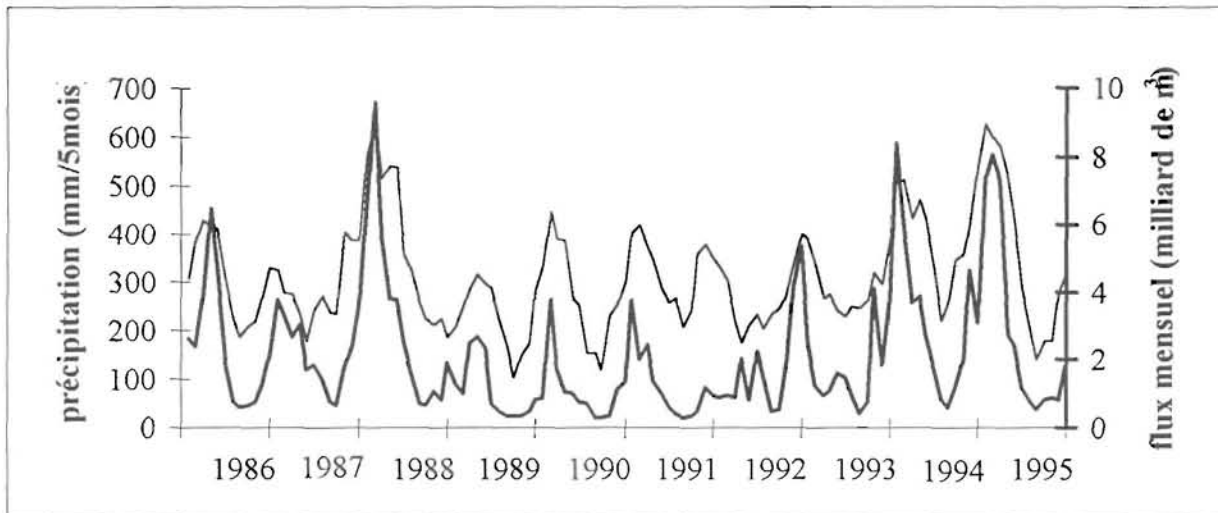


Figure 74: Relation entre les précipitations mensuelles cumulées sur 5 mois (les 4 précédents + le mois en cours) et le flux mensuel de la Loire ($R^2 = 0,66$; $n = 119$, $P < 0,01$)

Paramètres météorologiques

A retenir

Les caractéristiques hydrobiologiques du milieu estuarien sont soumises aux influences des variations des conditions météorologiques qui interviennent par voie de conséquence sur les performances de croissance des huîtres cultivées.

Les paramètres météorologiques quotidiens sont fournis par la station Météo France de l'île d'Yeu qui semble la plus appropriée pour caractériser les facteurs météorologiques susceptibles d'avoir une influence sur la baie de Bourgneuf.

Les paramètres météorologiques, mesurés de 1985 à 1995, ont un cycle saisonnier très marqué. Les températures oscillent entre 6 °C en février et 19 °C pendant les mois de juillet-août. Le rayonnement est minimal pendant le mois de décembre ($< 400 \text{ J/cm}^2$) et maximal en juin ($> 2000 \text{ J/cm}^2$). Le nombre d'heures d'insolation varie de 2 h/j en janvier et décembre, à 9 h/j en plein été. La moyenne journalière de la force des vents est supérieure à 6,5 m/s en janvier et ne descend pas en dessous de 5 m/s même en été. D'avril à septembre, les vents dominants sont de secteur NW tandis que le reste de l'année ils sont plutôt de secteur ENE. Les précipitations moyennes sont minimales en août (1 mm/j) et maximales aux mois d'octobre et de janvier (3 mm/j). Les vents de NNW favorisant la remise en suspension du sédiment dans la baie de Bourgneuf sont prépondérants de juin à août.

Seules la température et les précipitations présentent des variations annuelles importantes avec des hivers très rigoureux (1986, 1987 1991 et 1992) et des années moyennement pluvieuses (1986, 1988 et 1995) et très pluvieuses (1994). Les vents de NNW sont particulièrement actifs lors des années 1986, 1988, 1990, 1994 et 1995. L'introduction des eaux de la Loire dans la baie de Bourgneuf est favorisée en 1988, 1994 et 1995.

Il existe une relation significative entre les précipitations annuelles et le flux annuel de la Loire de 1986 à 1995.

IX Relation entre les croissances annuelles des huîtres de la baie de Bourgneuf et les facteurs environnementaux de la baie

Nous avons vu dans le chapitre IV que les croissances des huîtres *Crassostrea gigas* dans la baie de Bourgneuf montraient de grandes variations annuelles sur l'ensemble de la baie. Afin de déterminer les facteurs environnementaux responsables de ces variations, une analyse statistique est réalisée sur le logiciel SigmaStat.

IX-1 Analyse statistique

La régression multiple est une méthode d'analyse des relations linéaires entre une variable dépendante (croissance annuelle des huîtres) et plusieurs variables indépendantes (température annuelle, nombre annuel de cellules algales, concentration printanière en NO_3 ...) permettant d'estimer le degré de contrôle de la croissance des huîtres par chacune de ces variables indépendantes.

La croissance annuelle des huîtres est estimée à partir des gains pondéraux observés sur les huîtres cultivées en système expérimental (plaque) qui représentent une croissance optimale et qui permettent de s'affranchir des problèmes liés à la surdensité. Chacun des cinq sites de culture d'huîtres étudiés (les Moutiers, la Coupelasse, le Gril, Graisselous et Paillard) est analysé séparément. Les différents estimateurs de la croissance et de la mortalité des huîtres sont présentés dans le tableau 14.

L'ensemble des variables environnementales pouvant avoir une action sur les croissances et les mortalités des huîtres est listé dans le tableau 14.

La matrice de corrélation entre les différentes variables testées, permet de mesurer le degré de relation entre deux variables. Plus le coefficient de corrélation (R) est proche de 1 plus les variables sont liées entre elles. Les relations de causalités sont une interprétation de ces coefficients. Seules les relations significatives (où la probabilité d'erreur est $< 5\%$) les plus pertinentes sont étudiées. Ce test porte sur neuf années, de 1987 à 1995.

<i>estimateur de croissance</i>	<i>variable environnementale</i>	<i>variable environnementale</i>
gain annuel en poids total	température moyenne	salinité
gain annuel en poids coquille	température mensuelle minimale	flux de la Loire
gain annuel en poids chair sèche	température mensuelle maximale	moyenne VentLoire
mortalité annuelle sur plaque	précipitation	NO ₃
mortalité annuelle sur poche	rayonnement	NH ₄
	nébulosité	azote annuel (Bermerie)
	insolation	azote printanier (Bermerie)
	force des vents maximaux	azote automnal (Bermerie)
	direction des vents maximaux	azote hivernal (Bermerie)
	moyenne effetRS	azote print. + autom. (Bermerie)
	moyenne effetRS positif	phosphore annuel (Bermerie)
	nombre total d'algues	phosphore printanier (Bermerie)
	nombre moyen d'algues	phosphore automnal (Bermerie)
	nombre d'algues benthiques	phosphore hivernal (Bermerie)
	nombre d'algues pélagiques	phosphore
	nombre d'algues d'eau douce	print.+autom.(Bermerie)
	somme des dinoflagellés	N/P annuel (Bermerie)
	somme des Gymnodinium	N/P printanier (Bermerie)
	somme des Gyrodinium	N/P automnal (Bermerie)
	somme des algues toxiques	N/P hivernal (Bermerie)

Tableau 14: Différents estimateurs de la croissance annuelle des huîtres et listes des variables environnementales annuelles testées par la régression multiple.

IX-2 Résultats sur l'hydrobiologie de la baie de Bourgneuf

La précipitation à Noirmoutier est corrélée avec les vents de NNW (effetRS) ($R = 0,72$) et avec la nébulosité ($R = 0,66$) qui est logiquement opposé à l'insolation ($R = -0,60$). Les vents de NNW favorisent la formation de nuages qui vont générer les précipitations sur la Baie de Bourgneuf (les précipitations de toutes les stations météorologiques étudiées sont très fortement corrélées).

L'insolation à l'île d'Yeu est liée aux températures maximales ($R = 0,69$) tandis que ces dernières sont négativement corrélées avec la nébulosité ($R = -0,70$). Les diminutions annuelles de températures estivales seraient donc dues à une couverture nuageuse plus importante.

La quantité d'algues d'eau douce, présente dans les prélèvements du réseau REPHY, est corrélée significativement avec les précipitations de l'île de Noirmoutier ($R = 0,71$), car les eaux de Maison Blanche sont directement sous l'influence des eaux de ruissellement de Noirmoutier.

La quantité totale d'algues dépend de la quantité d'algues pélagiques ($R = 0,99$) et de celle des algues benthiques ($R = 0,77$). Lorsque l'année est favorable au développement algal, les deux types d'algues se retrouvent dans la colonne d'eau sans qu'il y ait de facteur particulier permettant un accroissement proportionnellement plus important des algues benthiques: aucune relation entre les algues benthiques et l'effet de remise en suspension des vents de NNW n'a été démontrée. Rappelons cependant, que la station du REPHY se situe au nord de l'île de Noirmoutier, qui est une zone peu soumise à cette influence.

Le développement des microalgues pélagiques et benthiques est lié aux quantités annuelles d'azote ($R = 0,60$), mais seules les algues pélagiques, qui représentent l'essentiel de la biomasse microalgale, dépendent de l'apport hivernal en azote ($R = 0,73$). Aucune relation avec le phosphore ou l'azote printanier n'est mise en évidence. Or les quantités annuelles de microalgues présentes dans la baie sont également très fortement corrélées avec les flux annuels de la Loire ($R = 0,66$) qui sont eux-mêmes liés aux moyennes annuelles des précipitations ($R = 0,82$). Etant donné la faiblesse des apports du bassin versant dans la baie (cf. Chap. II), on peut penser que ce sont les apports hivernaux d'azote par la Loire qui conditionnent la richesse nutritive de la baie de Bourgneuf.

L'analyse de corrélation montre que le nombre annuel de cellules algales prélevées au nord de l'île de Noirmoutier (REPHY) dépend des concentrations en azote de la colonne d'eau. Cependant les résultats des suivis bimensuels hydrobiologiques sur l'ensemble de la baie, indiquent une limitation de la production primaire par la silice en 1982 et en 1987, et une limitation par le phosphore en 1990 (cf chap. V-1-3). Il est difficile d'estimer la quantité de phosphore disponible pour le phytoplancton, car les ions PO_4 se fixent dans le sédiment et plus particulièrement sur les argiles. Lorsque la concentration en phosphore diminue dans la colonne d'eau, l'équilibre eau-sédiment est rompu et le sédiment relargue les phosphates selon une cinétique complexe liée à la température et à l'activité bactérienne qui modifie le pH du sédiment (Feuillet & Goulet, 1977). D'autre part nous ne disposons pas de données concernant l'évolution des quantités de silice présentes dans la baie de Bourgneuf de 1987 à 1995 car cet élément nutritif n'est pas dosé dans les échantillons du service maritime de Loire Atlantique.

Il existe une relation entre le développement des microalgues et les températures du mois le plus froid de l'année ($R = 0,62$) bien que ce paramètre ne soit corrélé à aucun des facteurs cités dans le paragraphe précédent. Cela pourrait indiquer que le développement des microalgues et en particulier des algues pélagiques est ralenti lorsque les températures sont plus basses. En effet, les processus de la photosynthèse sont contrôlés par des enzymes dont l'activité dépend de la température.

IX-3 Résultats sur les mortalités d'huîtres dans la baie de Bourgneuf

Les résultats des corrélations entre les mortalités des huîtres, élevées en poche et en système expérimental (plaque), observées dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf de 1987 à 1995, avec les variables environnementales les plus déterminantes sont présentées dans le tableau 15. La quantité d'algues toxiques présentes annuellement dans la colonne d'eau est testée sur les mortalités d'huîtres. Les fortes mortalités observées dans la baie de Bourgneuf en 1995 sont associées avec le dinoflagellé toxique *Gymnodinium nagasakiense* (Baud., 1995). De même, les mortalités d'huîtres observées en 1987 en Bretagne nord sont associées à la présence du dinoflagellé toxique *Gyrodinium spirale*, (Joanny *et al.*, 1993).

mortalité	algue tot.	N annuel	P hiver	N/P été	Gymno.	Gyrod.
Pl. Moutiers	0.79	0.78	0.25	0.05	0.03	0.51
Pl. Coupelasse	0.77	0.64	0.62	-0.26	0.46	0.89
Pl. Gril	0.50	0.30	0.62	-0.27	0.61	0.92
Pl. Graisselous	0.31	0.55	0.74	-0.22	0.74	0.91
Po. Moutiers	0.25	0.67	0.89	-0.80	0.60	0.58
Po. Coupelasse	0.06	0.36	0.85	-0.84	0.70	0.55
Po. Gril	-0.32	-0.22	0.60	-0.51	0.61	0.42
Po. Graisselous	0.09	0.56	0.78	-0.68	0.55	0.49

Tableau 15: Coefficients de corrélation entre les mortalités des huîtres, cultivées sur plaque (Pl.) ou en poche (Po.) dans les 4 sites de la baie de Bourgneuf, et les variables environnementales prépondérantes (corrélations significatives à 5 %).

Les mortalités observées sur les plaques et sur les poches ne semblent pas influencées par les mêmes facteurs environnementaux. En effet, les mortalités sur plaque, dans les trois sites du sud de la baie, sont associées à la quantité d'algues toxiques du genre *Gyrodinium* qui

évolue en fonction de la concentration hivernale de phosphore dans la baie ($R = 0,79$). Du nord vers le sud les mortalités d'huîtres sur plaque semblent de plus en plus influencées par la quantité de *Gymnodinium*. Seule, la station des Moutiers, qui enregistre pourtant les plus fortes mortalités lors de ces efflorescences toxiques (Baud, 1995) ne montre pas de corrélation significative avec ces algues. Les mortalités rencontrées sur ce site semblent liées à la quantité totale de microalgues qui fluctue en fonction des concentrations annuelles d'azote ($R = 0,60$).

La mortalité des huîtres, élevées en poche, est particulièrement sensible aux faibles rapports N/P en été et aux fortes concentrations hivernales de phosphore qui sont liées aux quantités d'algues toxiques du type *Gymnodinium* ($R = 0,82$).

La toxicité des deux algues agit différemment sur les huîtres selon qu'elles sont élevées en plaque ou en poche. L'action du *Gymnodinium* semble favorisée par les fortes densités (poche). L'évolution annuelle des quantités de *Gymnodinium* explique, au mieux, 50 % (R^2) de la variabilité annuelle de la mortalité des huîtres élevées en poche. Le rapport N/P estival intervient également mais ces mortalités ne sont corrélées ni avec les concentrations estivales d'azote, ni avec celles de phosphore. Un facteur non testé ici est apparemment responsable des mortalités des huîtres dans le site du Gril, qui est le plus vaste site ostréicole de la baie. Peut-être s'agit-il d'un problème de surcharge du site trop importante.

Il est intéressant de noter que les mortalités ne sont pas liées aux températures maximales annuelles ni avec les vents de NNW (effetRS) susceptibles de créer une forte turbidité nocive aux mollusques.

IX-4 Résultats sur les croissances annuelles des huîtres

Les croissances annuelles mesurées sur le site de Paillard de 1987 à 1995 diminuent avec les années sans aucune corrélation avec un facteur environnemental testé. L'hypothèse de la surexploitation de ce site due à un accroissement trop important des surfaces concédées au fil des années semble donc confirmée.

Les croissances des huîtres élevées sur plaque dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf sont très fortement corrélées entre elles, car les variations interannuelles sont beaucoup plus importantes que les variations intersites.

IX-4-1 Poids total

La croissance, estimée par le gain pondéral de poids total entre mars et novembre sur les huîtres, est très fortement liée à la température annuelle moyenne mesurée à l'île d'Yeu (R varie de 0,67 à 0,96) (Fig. 75) et à la quantité d'azote en période printanière (R variant entre 0,51 et 0,77). Ce qui nous permet d'élaborer des modèles linéaires de croissance fiables pour chacun des sites ostréicoles de la baie ($R > 0,75$):

		significativité
- Moutiers :	crois = 0,30 Nprint. + 6,71 Tempan. - 71,92	99 %
- Coupelasse :	crois = 0,12 Nprint. + 4,61 Tempan. - 41,94	95 %
- Gril :	crois = 0,02 Nprint. + 8,20 Tempan. - 83,24	98 %
- Graisselous:	crois = 0,22 Nprint. + 4,61 Tempan. - 36,29	91 %

Ces deux variables environnementales permettent d'expliquer à elles seules, 92 % (R^2) de la variation annuelle de la croissance des huîtres en poids total dans le site du Gril, 78 % dans le site des Moutiers, 64 % dans le site de la Coupelasse et 56 % dans le site de Graisselous.

Les variations de la température moyenne annuelle sont essentiellement dues à la rigueur des hivers ($R = 0,78$). Les croissances dans les trois sites les plus au nord de la baie sont d'ailleurs fortement corrélées avec les températures minimales annuelles ($R > 0,72$). Bien que les dépenses métaboliques des huîtres augmentent avec la température, il n'y a pas de relation négative entre les températures maximales estivales et la croissance des huîtres. De même, l'impact négatif des vents de NNW susceptibles d'augmenter la charge particulaire dans la colonne d'eau n'apparaît dans aucun des sites.

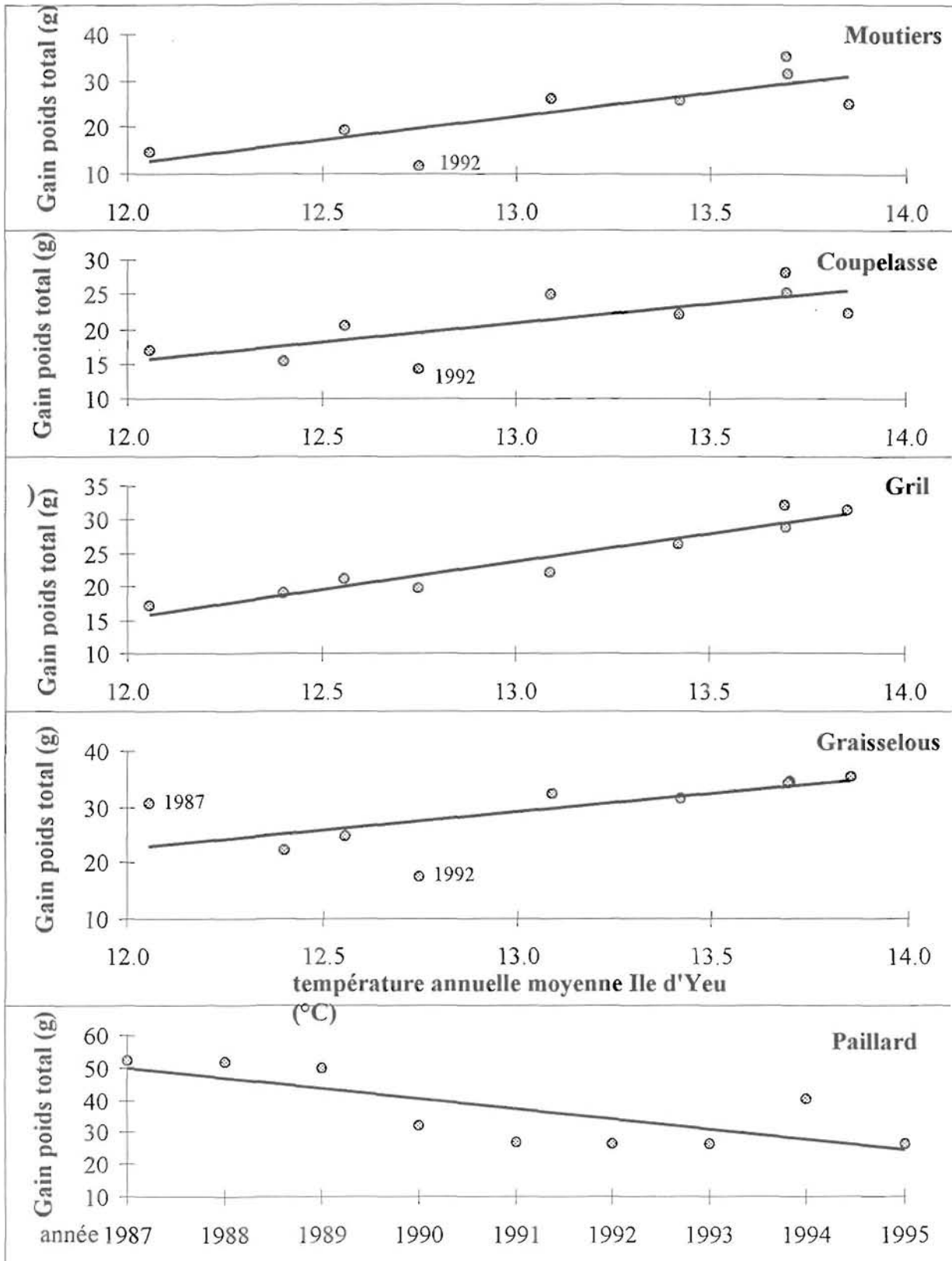


Figure 75: Relation positive entre les gains en poids total des huîtres et la température moyenne annuelle mesurée à l'île d'Yeu, pour les huîtres des sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Relation négative des gains en poids total des huîtres de Paillard avec les années.

IX-4-2 Poids de coquille

Le gain pondéral de poids de coquille de mars à novembre pour les huîtres élevées en plaque n'est testé que pour les années 1988, 1989, 1990, 1993, 1994, et 1995, les autres années ont trop de données manquantes. Dans chacun des sites étudiés le gain en poids total est fortement corrélé à celui du poids de coquille ($R > 0,72$).

Dans le site de Paillard, au sud de Noirmoutier, la croissance coquillière est corrélée négativement avec les années, tout comme le gain annuel en poids total, mais également avec les températures minimales ($R = 0,72$). Contrairement aux autres sites de la baie de Bourgneuf les basses températures seraient responsables d'une diminution ou d'un arrêt de la croissance coquillière. Les gains en poids de coquille dans les sites de la baie sont dépendants des températures moyennes annuelles (Tab. 16) sauf dans le secteur de la Coupelasse où il n'y a aucune relation avec ce facteur. La croissance coquillière, de même que le gain de poids total, est dépendante de la concentration azotée annuelle (Tab 16). La croissance coquillière s'effectue essentiellement au printemps et en été en fonction de la qualité nutritive du milieu (dépendante de la quantité d'azote) et elle est favorisée par les fortes températures.

<i>site</i>	<i>N annuel</i>	<i>N print-automne</i>	<i>N print.</i>	<i>Temp an.</i>
Moutiers	0.74	0.80	0.76	0.92
Coupelasse	0.92	0.35	0.50	-0.02
Gril	0.44	0.79	0.65	0.65
Graisselous	0.77	0.73	0.81	0.86
Paillard	0.28	0.04	0.15	0.16

Tableau 16: Coefficients de corrélation entre les gains annuels de poids de coquille et les paramètres environnementaux déterminants.

Les modèles mathématiques de la croissance coquillière, basés sur ces relations permettent d'expliquer plus de 86 % de la variation annuelle du gain en poids de coquille observée aux Moutiers, 84 % à la Coupelasse, 63 % au Gril et 88 % à Graisselous.

- Moutiers :	pcoq = 0,06 Nprint. + 5,23	Tempan. - 51,35	94 %
- Coupelasse :	pcoq = 0,37 Nan. + 10,07		99 %
- Gril :	pcoq = 0,22 Nprint-aut. + 11,10		86 %
- Graisselous:	pcoq = 0,15 Nan. + 3,70	Tempan. - 29,32	89 %

Le degré de signification des régressions linéaires est supérieur à 86 %.

IX-4-3 Poids de chair sèche

Le gain en poids de chair sèche diminue au fil des années à Paillard ($R = - 0,89$) sans autre relation avec les facteurs environnementaux. Les variations annuelles du gain en poids de chair sèche dans les trois sites ostréicoles situés au nord de la baie de Bourgneuf évoluent en fonction de deux paramètres : la température maximale annuelle et le rapport automnal N/P. Contrairement à ces trois sites, Graisselous est particulièrement sensible au rapport N/P en hiver (Tab. 17).

Site	N/P autom.	N/P hiver	temp. max.
Moutiers	0.98	-0.45	0.81
Coupelasse	0.93	-0.59	0.62
Gril	0.83	-0.58	0.64
Graisselous	0.62	-0.99	0.82
Paillard	-0.16	-0.17	-0.46

Tableau 17 : Coefficients de corrélation entre les gains annuels de chair sèche et les paramètres environnementaux déterminants.

Ces relations permettent l'élaboration de régressions linéaires multiples (le degré de signification est supérieur à 91 %) capables de prédire le gain en poids de chair sèche en novembre, d'individus de 30 g en mars élevés sur les systèmes expérimentaux.

				significativité
- Moutiers :	psec = 0,02 N/Paut. - 0,08	Tempmax + 2,14		91 %
- Coupelasse :	psec = 0,01 N/Paut. - 0,0008	Tempmax + 0,62		95 %
- Gril :	psec = 0,01 N/Paut. + 0,10	Tempmax - 1,37		99 %
- Graisselous:	psec = -0,01 N/Phiver + 1,46			99 %

Ces paramètres permettent d'expliquer 96 % de la variation annuelle des gains de poids de chair sèche aux Moutiers, 86 % à la Coupelasse, 80 % au Gril et 97 % à Graisselous. La température maximale détermine la croissance totale de l'animal tout au long de l'année tandis

que le rapport automnal N/P conditionne l'engraissement pendant la période post-ponte. Les gains en chair avant le mois d'août étant essentiellement destinés à la ponte, seule la croissance automnale détermine la qualité de l'animal avant la commercialisation.

Relation entre la croissance des huîtres en baie de Bourgneuf et les facteurs environnementaux

A retenir

Les croissances des huîtres *Crassostrea gigas* dans la baie de Bourgneuf montrent de grandes variations annuelles sur l'ensemble de la baie. Les facteurs environnementaux responsables de ces variations sont déterminés à l'aide d'une analyse statistique.

Le développement des microalgues pélagiques et benthiques est lié aux quantités annuelles d'azote et au flux annuel de la Loire. Etant donné la faiblesse des apports du bassin versant dans la baie (cf. Chap. II), on peut penser que ce sont les apports hivernaux d'azote par la Loire qui conditionnent la richesse nutritive de la baie de Bourgneuf. Le développement microalgal est moins important lorsque les hivers sont plus rigoureux.

Il n'existe pas de relation entre les quantités d'algues benthiques et l'effet de remise en suspension des vents de NNW. Rappelons cependant, que la station du REPHY se situe au nord de l'île de Noirmoutier, elle est donc de ce fait une zone peu soumise à cette influence.

Les mortalités des huîtres, élevées en poche ou en système expérimental (plaque), dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf de 1987 à 1995, sont essentiellement dues aux efflorescences d'algues toxiques *Gymnodinium* ou *Gyrodinium*, qui évoluent en fonction de la concentration de phosphore hivernal dans la baie. Les huîtres élevées sur plaque sont principalement touchées par le *Gyrodinium* tandis que l'action du *Gymnodinium* semble favorisée par la plus forte densité des huîtres élevées en poche. Un facteur non testé ici est apparemment responsable des mortalités des huîtres dans le site du Gril, qui est le plus vaste site ostréicole de la baie. Peut-être s'agit-il d'un problème de surcharge du site trop importante ?

Il est intéressant de noter que les mortalités ne sont pas liées aux températures maximales annuelles ni avec les vents de NNW (effet RS) susceptibles de créer une forte turbidité nocive aux mollusques.

La croissance annuelle des huîtres est estimée à partir des gains pondéraux observés sur les huîtres cultivées en système expérimental (plaque) qui représentent une croissance optimale et qui permettent de s'affranchir des problèmes liés à la surdensité culturale.

Les croissances annuelles mesurées au site de Paillard (en poids total, poids de coquille ou poids de chair sèche) diminuent de 1987 à 1995 sans aucune corrélation avec un facteur environnemental testé. L'hypothèse de la surexploitation de ce site due à un accroissement trop important des surfaces concédées au fil des années semble donc confirmée.

Les croissances des huîtres élevées sur plaque dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf sont très fortement corrélées entre elles, car les variations interannuelles sont beaucoup plus importantes que les variations intersites.

La croissance, estimée par le gain pondéral de poids total entre mars et novembre, dépend de la température annuelle moyenne et de la quantité d'azote en période printanière. Ces deux variables environnementales permettent d'expliquer à elles seules, 92 % (R^2) de la variation annuelle de la croissance des huîtres en poids total dans le site du Gril, 78 % dans le site des Moutiers, 64 % dans le site de la Coupelasse et 56 % dans le site de Graisselous. La croissance des huîtres est ralentie lors des hivers rigoureux. Bien que l'activité métabolique des huîtres augmente avec la température, il n'y a pas de relation négative entre les températures maximales estivales et la croissance des huîtres. De même, l'impact négatif des vents de NNW susceptibles d'augmenter la charge particulaire dans la colonne d'eau n'apparaît dans aucun des sites. La quantité d'azote printanier peut être considérée comme un estimateur de la potentialité nutritive du bassin.

Les gains pondéraux en poids de coquille et de chair sèche ne sont testés que pour les années 1988, 1989, 1990, 1993, 1994, et 1995.

Dans chacun des sites étudiés, le gain en poids de coquille est fortement corrélé à celui du poids total. Au sein de la baie de Bourgneuf, la croissance coquillière s'effectue essentiellement au printemps en fonction de la qualité nutritive du milieu (dépendante de la quantité d'azote) et en été où elle est favorisée par les fortes températures.

Les variations annuelles du gain en poids de chair sèche dans les quatre sites ostréicoles de la baie de Bourgneuf évoluent en fonction de la température maximale annuelle et du rapport automnal N/P. Ces deux paramètres sont responsables de 96 % de la variation annuelle des gains de poids de chair sèche observée aux Moutiers, 86 % à la Coupelasse, 80 % au Gril et 68 % à Graisselous. La température maximale détermine la croissance totale de l'animal tout au long de l'année tandis que le rapport automnal N/P conditionne l'engraissement pendant la période post-ponte. Les gains en chair avant le mois d'août étant essentiellement destinés à la ponte, seule la croissance automnale détermine la qualité de l'animal avant la commercialisation.

X Conclusions générales

Potentialité nutritive de la baie de Bourgneuf

Malgré la large ouverture océanique située au nord ouest de la baie les eaux néritiques et océaniques ne se mélangent pas beaucoup. Le temps de résidence des masses d'eau dans la baie de Bourgneuf est d'environ 2 mois, car l'essentiel de l'eau amenée par le flot, repart en sens inverse lors du jusant. Seule une toute petite partie de cette eau s'écoule par le goulet de Fromentine. L'accumulation des éléments nutritifs pendant l'hiver ainsi que l'importance des dessalures observées dans la baie de Bourgneuf, témoignent du lent renouvellement des masses d'eau.

Les microalgues, principal constituant du régime alimentaire des huîtres, sont composées de phytoplancton essentiellement néritique, résultant d'une production autochtone, et de microphytobenthos remis en suspension dans la colonne d'eau par le clapot généré par les vents d'ouest et les courants de marée. Dans les sites conchylicoles, les blooms printaniers sont provoqués par le développement de diatomées pélagiques (*Chaetoceros* et *Rhizosolenia*) tandis que les algues benthiques sont majoritaires à la fin de l'été et en automne. Les dinoflagellés constituent l'essentiel des peuplements algaux en période estivale. L'analyse des populations microalgales effectuées au nord de l'île de Noirmoutier dans le cadre du réseau REPHY (surveillance des efflorescences toxiques) depuis 1987, ne permet pas d'estimer l'importance du microphytobenthos qui est très productif sur les vasières au nord de la baie. **Il est donc nécessaire d'étudier le développement du microphytobenthos et les processus de remises en suspension de ces microalgues afin d'estimer le potentiel nutritif de la baie de Bourgneuf pour les mollusques filtreurs.**

Le développement des populations phytoplanctoniques dans la baie de Bourgneuf présente de grandes variations annuelles, comme en témoignent les différences de concentrations chlorophylliennes observées en 1987 et 1990, et le dénombrement algal effectué bimensuellement (REPHY). La production phytoplanctonique évolue en fonction des quantités de sels nutritifs apportés par les eaux de Loire qui pénètrent dans la baie lors des faibles coefficients de marée et sous l'influence des vents de nord-ouest. Les fortes dessalures

et les concentrations en azote mesurées dans la baie de Bourgneuf sont en effet fortement corrélées avec les flux de la Loire. Les apports directs par les cours d'eau du bassin versant sont trop faibles pour avoir une influence sur l'écosystème de la baie; ils représentent moins de 0,005 % du volume moyen de la baie.

La production primaire phytoplanctonique de la baie de Bourgneuf semble limitée en général par la silice (1982 et 1987) et exceptionnellement par l'insuffisance de phosphore comme en 1990. D'autres suivis seraient nécessaires pour confirmer ce résultat d'autant plus que les flux d'azote et de phosphore dans l'estuaire de la Loire ont tendance à augmenter au fil des années.

Les huîtres sont également capables d'assimiler de la matière détritique, avec un rendement énergétique moindre que celui des microalgues. Cependant, étant donné les quantités importantes de matière détritique présentes dans la colonne d'eau, notamment dans les sites de forte remise en suspension au nord de la baie, cette source de nourriture ne peut être négligée et nécessite une estimation rigoureuse. Elle permet, en effet, d'expliquer la croissance des huîtres en période estivale en 1987 alors qu'il n'y a pratiquement plus de chlorophylle dans le milieu.

La charge sestonique minérale dans la colonne d'eau intervient indirectement sur la croissance des huîtres en limitant la production phytoplanctonique et en ayant un impact négatif important sur les processus de nutrition de l'huître. Actuellement les données sont insuffisantes pour comprendre les mécanismes de remise en suspension du sédiment et estimer avec fiabilité l'évolution saisonnière et quotidienne de la charge sestonique. **Il est donc nécessaire d'entreprendre une étude annuelle sur les variations de ce paramètre au cours d'un ou de plusieurs cycles complets de marée et sur l'ensemble de la baie.**

Croissance des huîtres dans la baie de Bourgneuf

Les pêches de moules de gisement, en raison de leur faible valeur commerciale (1FF/kg) et les productions de moules de bouchot à cause de leur faible tonnage (600t/an) ne représentent qu'un apport économique minime comparé aux 110-130 millions de francs annuels fournis par la vente des huîtres de la baie.

Le stock d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf dépend intégralement (99%) du captage de Fouras qui s'avère de plus irrégulier. Afin d'engager une réelle politique de gestion du bassin, il serait judicieux d'intégrer dans les apports de juvéniles un autre

approvisionnement, plus stable, comme celui issu de systèmes contrôlés (écloseries, nurseries) ;

Les mortalités annuelles des huîtres élevées en poche représentent en moyenne 8 % du nombre initial d'individus, sans qu'il y ait de différence entre les sites ostréicoles. Elles se produisent essentiellement au printemps et en été lorsque les fortes températures exacerbent leurs dépenses métaboliques alors que le milieu est pauvre en nourriture, soit parce que l'efflorescence printanière n'a pas encore eu lieu, soit parce qu'elle est déjà finie. Les variations annuelles de mortalité sont liées aux efflorescences d'algues toxiques (*Gymnodinium* ou *Gyrodinium*). L'action létale du *Gymnodinium* semble favorisée par les fortes densités d'huîtres.

Les huîtres de 30-35 g en mars, cultivées en poche, à raison de 200 individus par poche ont des gains de poids entre mars et novembre, qui varient de 13 g pour les années les moins productives (1992) à 31 g pour les années les plus productives (1990, 1994, 1995). Ces variations de croissance interannuelles sont dues aux différences de température (effet négatif des hivers rigoureux) et à l'importance de l'efflorescence printanière. Les gains en poids totaux, liés essentiellement à la croissance coquillière, se produisent au printemps et en été. En été, les huîtres se nourrissent soit de microphytobenthos remis en suspension (comme en 1990) ce qui explique que les sites ostréicoles situés au nord de la baie soient plus poussants que les sites ostréicoles situés plus au sud en période estivale, soit de matière détritique (comme en 1987). Cependant, bien que les variations annuelles de croissance soient beaucoup plus importantes que les variations entre les sites, les sites situés au sud présentent de meilleures performances annuelles que ceux du nord. Les fortes charges sestoniques des sites nord (150 mg/l en moyenne) ne permettraient pas aux huîtres d'utiliser l'importante richesse nutritive apparente de ce secteur (25 µg/l de chlorophylle *a*). Ce potentiel nutritif est représenté par des microalgues dont la taille est supérieure à 1,2µm. Or, dans les milieux turbides, l'huître *Crassostrea gigas* ne retient que les plus grosses particules pour ne pas colmater ses branchies. **Il est donc nécessaire d'étudier la taille des microalgues, et l'évolution de la charge sestonique dans chacun des sites ostréicoles afin d'estimer la nourriture réellement disponible pour les huîtres. L'application d'un modèle physiologique de *Crassostrea gigas*, conçu spécialement pour les milieux turbides, permettrait de comprendre les rendements énergétiques des huîtres soumises aux différentes conditions de milieu dans la baie de Bourgneuf.**

Comparées aux performances de croissance et de qualité des huîtres élevées sur table dans les autres bassins conchylicoles français, celles de la baie de Bourgneuf sont les plus

basses avec celles du bassin de Marennes-Oléron. Ces deux bassins souffrent d'une surexploitation importante. Dans la baie de Bourgneuf, cette surcharge intervient à tous les niveaux :

- à l'échelle de la baie: depuis la disparition des huîtres portugaises en 1970, les stocks d'huîtres *Crassostrea gigas* n'ont cessé d'augmenter jusqu'à atteindre actuellement 45-50 000 tonnes. Ce sont les mauvais rendements de croissance observés depuis les années 1980 qui ont déterminé l'arrêt de cette expansion.

- à l'échelle des sites ostréicoles: l'évolution des croissances observées de 1987 à 1995 dans le site de Paillard, au sud de l'île de Noirmoutier, montre une très nette diminution des performances de croissance au fur et à mesure de l'augmentation des surfaces concédées. Ce site qui présentait en 1987 des performances de croissance supérieures de plus de 30 % par rapport aux croissances observées dans la baie, se trouve actuellement au même niveau que les autres sites de la baie.

- à l'échelle de la structure conchylicole: les performances de croissance diminuent proportionnellement à l'augmentation de la charge en huître par poche. La pratique professionnelle est très irrégulière au sein du bassin comme au sein d'un même parc et la charge des poches au mois de mars peut varier de 13 à 7 kg. Une charge de 7 kg par poche en mars ne permet pourtant pas d'avoir de très bonnes croissances. Dans les années 1985 à 1987, les huîtres de 2 ans élevées sur collecteurs occupent plus de 30 % des tables conchylicoles avec des densités qui oscillent autour de 45 kg par mètre de table. Du fait de cette pratique, plus de 40 % du stock de la baie de Bourgneuf se trouve à des densités supérieures à 40 kg/m alors que dans la plupart des autres bassins ostréicoles français, les huîtres sont détroquées dès leur seconde année et mises en poche (densité de 22 kg/m) pour finir leur croissance. Enfin, la culture en double rangée de table, très répandue dans la baie de Bourgneuf, augmente de plus d'un tiers la densité d'un parc.

Cette surexploitation entraîne une diminution de la croissance et donc une augmentation des durées d'élevage (3 à 4 ans) et une diminution de la rentabilité des entreprises. De plus, les fortes densités de mollusques conduisent à des mortalités élevées lorsqu'un agent pathogène se déclare. D'autre part, la production annuelle vendue ne dépend pas du stock d'huîtres cultivées mais des conditions du marché (Fig. 76).

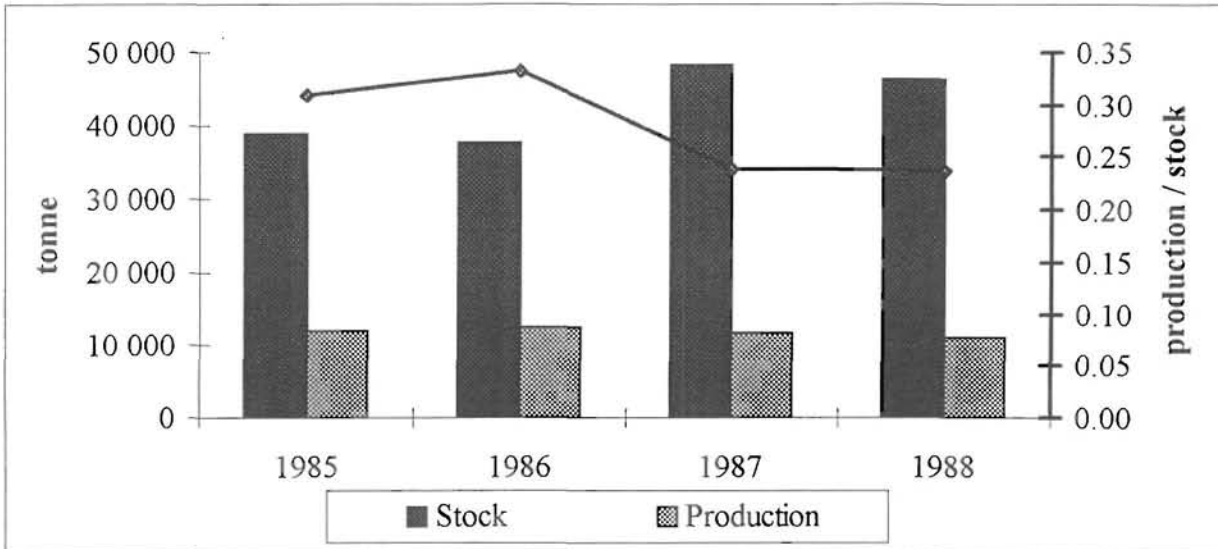


Figure 76: Relation entre la production annuelle d'huîtres de la baie de Bourgneuf et les stocks d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf. Le rendement du bassin conchylicole est donné par le rapport production/stock cultivé (----).

Diminuer le stock d'huîtres cultivées, permettrait d'augmenter le rendement biologique des élevages (croissance en 2 ou 3 ans) conduisant à la même production potentielle tout en diminuant les coûts en main d'oeuvre. De plus, les huîtres à la commercialisation seraient de plus grande taille et de meilleure qualité. Pour cela il faut entreprendre une politique d'homogénéisation des pratiques culturales basée sur la mise en poche plus précoce des huîtres et une forte diminution des densités d'élevage (diminution des densités de collecteur, des doubles rangées de tables et du nombre d'huîtres par poche). La diminution du nombre de parcs sur les estrans de la baie, pourrait s'accompagner du développement des cultures d'huîtres en pleine eau sur filière (si cette technique s'avère techniquement possible et rentable dans la baie de Bourgneuf) à l'instar de la politique de restructuration des bouchots entreprise dans le Pertuis Breton en 1991.

Diminuer la surcharge conchylicole de la baie de Bourgneuf consiste également à diminuer les stocks naturels de mollusques filtreurs. Si l'impact négatif du gisement de moules sur les croissances des huîtres situées en aval, n'a pas pu être clairement mis en évidence, l'importance que peut atteindre leur biomasse (40 000 tonnes en 1986) ne permet pas de les négliger. Il serait nécessaire de faire une estimation régulière du stock de moules (tous les 5 ans) ainsi que celui des coques et des crépidules qui doivent constituer des biomasses considérables dans la baie de Bourgneuf. Il faudrait également estimer l'importance des huîtres sauvages qui se développent sur les parcs abandonnés.

Qualité des huîtres en baie de Bourgneuf

Une forte proportion de la production annuelle est vendue pendant la période de Noël par les grosses entreprises ostréicoles. La qualité des huîtres au mois de novembre dépend uniquement du gain de chair en période automnale. En effet, la croissance en poids de chair avant le mois d'août est essentiellement destinée à la ponte. Ainsi, des individus qui ont un indice de condition de 90 (Lawrence & Scott) au mois de mai-juin se retrouvent en période de commercialisation avec des indices médiocres de 45 lors des bonnes années de croissance. Dans la mesure où 99 % du naissain provient de Fouras (bassin de Marennes-Oléron), la ponte peut être considérée comme une perte inutile de productivité. L'élevage d'huîtres triploïdes, qui peuvent être considérés comme stériles, présente des performances de croissance supérieures à celles des huîtres naturelles (diploïdes) dès la deuxième année en baie de Bourgneuf. **La culture des ces huîtres triploïdes pourrait donc être un produit de diversification pour améliorer les rendements ostréicoles et la qualité des huîtres de la baie de Bourgneuf.** Une autre solution consisterait à **utiliser les vastes étendues de polders et de claires disponibles pour pratiquer un affinage traditionnel ou/et contrôlé avant la période de commercialisation.** L'existence d'eau salée souterraine particulièrement favorable au développement de microalgues fourrages telle que *Skeletonema costatum* constitue l'un des atouts de la baie de Bourgneuf. Les techniques de cultures microalgales bien maîtrisées sont employées en routine dans les nurseries commerciales d'huîtres de Bouin. Enfin, la baie de Bourgneuf présente une eau de mer de bonne qualité, particulièrement propice à la production d'huîtres saines, car la pollution par les métaux lourds et les produits chimiques est parmi la plus faible de tous les bassins conchylicoles français (réseau RNO). Rappelons également que le taux d'infestation par le polydora est toujours en dessous de la moyenne nationale (réseau REMORA) et que les huîtres présentent donc des coquilles saines et robustes..

Etant donné l'importance de la compétition sur le marché européen, il devient nécessaire de produire une huître de bonne qualité. Les professionnels doivent intégrer cette exigence car elle conditionne fortement le maintien de cette ressource économique dans la région.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonymes**, 1995 - Incidence des crues de Loire sur les eaux littorales de Loire Atlantique. *Rapport Agence de l'eau et Service Maritime de Navigation 44*, 29 p + annexes.
- Bardouil M., Bohec C., Bougrier S., Cormerais M. & P. Lassus**, 1993 - Etude expérimentale des effets d'un régime composé de microalgues toxiques sur la nutrition de l'huître creuse *Crassostrea gigas* Thunberg. *J. Shell. Fish. Res.*, 12 (2): 417-422.
- Barillé L., Prou J., Héral M. & S. Bougrier**, 1993 - Influence de la qualité et de la quantité de nourriture sur l'efficacité de rétention de l'huître japonaise *Crassostrea gigas*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 171 : 91-106.
- Barillé L., Prou J., Héral M. & D. Razet**, 1997 - Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas*. Soumise au *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol 212, n° 2, 149-172..
- Barillé L., Prou J., Héral M. & P. Soletchnik**, 1993b - Feeding behaviour of a population of *Crassostrea gigas* in the natural environment of Marennes-Oléron during a spring tide cycle : ressource availability and utilization. *Poster in "World Aquaculture Society"*, Torremolinos (Spain), may 1993.
- Barillé-Boyer A.L.**, 1996 - Contribution à l'étude des potentialités conchyliques du pertuis Breton. *Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II*, 312 p.
- Baud J.P.**, 1995 - Bilan des mortalités de l'huître creuse en baie de Bourgneuf. *Ostrealinea*, 29 : 2-5.
- Baud J.P. & J. Haure**, 1987 - Estimation des stocks d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf en 1986. *Rapport interne IFREMER DRV 87-020/RA/Bouin*, 32 p.
- Baud J.P. & J. Haure**, 1988 - Estimation des stocks de moules de gisements naturels dans la baie de Bourgneuf en 1986. *Rapport interne IFREMER DRV 88-012/RA/Bouin*, 29 p.
- Baud J.P. & J. Haure**, 1989 - Estimation des stocks d'huîtres cultivées (*C. gigas*) et de moules de gisements naturels (*M. edulis*) dans la baie de Bourgneuf en 1987. *Rapport interne IFREMER DRV 89-40/RA/Bouin*, 51 p.
- Baud. J.P., Haure J., Marion A. & J.M. Robert**, 1990 - Caractéristiques hydrobiologiques de quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en 1987. *Rapport Interne IFREMER DRV-90.04-RA/Bouin*, 66 p.
- Baud J.P. & P. Hommebon**, 1987 - Estimation des stocks d'huîtres creuses en élevage dans la baie de Bourgneuf en octobre 1985. *Rapport interne IFREMER DRV 87-002/RA/Bouin*, 28 p.
- Baud J.P., Lefrançois J. & J. Haure**, 1990 - Evaluation des stocks d'huîtres (*Crassostrea gigas*) et des stocks de moules (*Mytilus edulis*) sur les gisements naturels et les

- bouchots dans la baie de Bourgneuf en 1988. *Rapport interne IFREMER DRV 90-35/RA/Bouin*, 65 p.
- Bayne B.L.**, 1976 - Marine mussels: their ecology and physiology. *Cambridge University Press London, Cambridge*, 506 p.
- Bayne B.L. & A.J.S. Hawkins**, 1992 - Ecological and physiological aspects of herbivory in benthic suspension feeding molluscs. In *Plant-animal interactions in the marine benthos*. John D.M., Hawkins A.J.S. & Price J.M. (eds). Clarendon Press Oxford : 265-288.
- Bayne B.L., Hawkins A.J.S., Navarro E. & I.P. Iglesias**, 1989 - Effect of seston concentration on feeding digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis* (L). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 55 : 47-54.
- Berthomé J.P., D Razet et J Garnier** (1981). Description, évolution et importance des différentes techniques de captage en rivière Seudre (bassin de Marennes-Oléron) : incidence sur la production d'huîtres creuses (*C.gigas*) ; *CIEM, C.M.1981/K* : 30.
- Blanchard G.F. & V. Cariou-Le Gall**, 1994 - Photosynthetic characteristics of microphytobenthos in Marennes-Oléron bay, France : Preliminary results. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 182 : 1-14.
- Blanchard G.F., Guarini J.M., Richard P., Gros Ph. & F. Mornet**, 1996 - Quantifying the short-term temperature effect on light saturated photosynthesis on intertidal microphytobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 134 : 309-313.
- Bodoy A.**, 1986 - Assessments of natural mortality of cultivated oyster (*Crassostrea gigas*) in the bay of Marennes-Oléron (France). *J. Const. Int. Explor. Mer.*, 38 : 3-20.
- Bodoy A., Prou J. & J.P. Berthomé**, 1986 - Etude comparative des différents indices de conditions chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*. *Haliotis*, 9 : 107-116.
- Boromthanasart S.**, 1986. Les bouchots à *Mytilus edulis* dans l'écosystème estuarien du bassin de Marennes-Oléron (France). Aspects biologiques et bioénergétiques. *Thèse. Doct de spécialité en océanologie, Université d'aix marseille II*, 142p.
- Boucher D.**, 1975 - Production primaire saisonnière du microphytobenthos des sables envasés de la baie de Concarneau. *Thèse Doct. Univ. Bretagne Occ.*, 103 p.
- Bougis P.**, 1974 - Ecologie du plancton marin, *ed. Masson*, 1, 195 p.
- Bougrier S, Geairon P, Deslous-Paoli J.M., Bacher C. & G. Jonquieres**, 1995 - Allometric relationship and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 134 : 143-154.
- Bricelj V.M, Lee J.H, Cembella A.D, Anderson D.M.**, 1990 - Uptake kinetics of paralytic shellfish toxins from the dinoflagellate *Alexandrium fundyense* in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol 63, n° 2-3, 177-188.

- Cariou-Le Gall V. & G.F. Blanchard**, 1995 - Monthly HPLC measurements of pigments concentration from an intertidal muddy sediment of Marennes-Oléron, France. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol 121, 171-179.
- Cherfaoui D.**, 1973 - Observations sur le cycle saisonnier des populations de crustacés copépodes planctoniques en baie de Bourgneuf. *Thèse Doct Univ. Nantes.*, 130 p.
- Claisse D., Joanny M. & B. Boutier**, 1995 -in RNO, Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Surveillance du milieu marin. Travaux du RNO, édition 1995. *IFREMER et Ministère de l'environnement*, 32 p.
- Cloern J.E.**, 1987 - Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Cont. Shelf. Res.*, 7 : 1367-1381.
- Corbeil M.J.**, 1968 - Etude de la reproduction des huîtres en baie de Bourgneuf de 1964 à 1967.
- Corlay J.R. & J. M. Robert**, 1986 - Les cultures marines en baie de Bourgneuf. *Cahier Nantais*, 27 : 103-169.
- De Jonge V.N. & J.E.E. Van Beukesom**, 1992 - Wind and tide induced resuspension of sediment and microphytobenthos in the Ems estuary. *Thesis Rijksuniversiteit Groningen*, 139-156.
- Deslous-Paoli J.M.**, 1980 - Contribution à l'étude de la biologie de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) dans le bassin et les claires de Marennes-Oléron. *Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II*, 121 p.
- Feuillet M. & D. Gouleau**, 1977 - Action des épendages de craie (ou CaCO₃) sur les vases des claires et des parcs ostréicoles. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 41 (4) : 417-436.
- Fleming R. H.**, 1940 - The composition of plankton and units for reporting population and production. *Proc. sixth Pacif. Sci. Congr. Calif.*, 3 : 535-540.
- Gouleau D.**, 1968 - Etude hydrologique et sédimentologique de la baie de Bourgneuf. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 187 p.
- Gouleau D.**, 1971 - Le régime hydrodynamique de la baie de Bourgneuf et ses conséquences sur la sédimentation. *Cahiers Océanogr. C.O.E.C.*, 23 (7)
- Gouleau D.**, 1975 - Les premiers stades de la sédimentation fine sur les vasières littorales découvertes. Rôle de l'immersion. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, (2 vol.) 241+123 p.
- Goyard E.**, 1995a - Remora 94 : Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises. Résultats nationaux, année 1994. *Document IFREMER*, 29 p.
- Goyard E.**, 1995b - Remora 93 : Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises. Résultats nationaux, année 1993. *Document IFREMER*, 14 p.
- Goyard E.**, 1996 - Remora 95 : figures et tableaux de la troisième année du réseau de suivi de croissance d'huître creuse sur les côtes françaises. *Document IFREMER*, 72 p.

- Grant J., Dowd M. & Thompson K.**, 1993. Perspective on field studies and related biological models of bivalve growth and carrying capacity: *Nato ASI G 33. Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*, ed. Dame R.F., 584 p.
- Gruet Y., Godeau M., Bioret F., Le Rhun J., Verger F., Robin M., Tonnerre M.A., Maillet A., Vital C. & J.P. Bertrand**, 1972 - L'économie de l'eau dans le marais de Monts depuis le début du 18^{ème} siècle jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle. *A.T.P. du PIREN- Histoire de l'environnement*, 220 p.
- Hasfaoui M.**, 1984 - Fertilisation d'un système eutrophe à forte variabilité saisonnière et annuelle (rade de Brest). Mise en évidence des facteurs limitants de la production phytoplanctonique. Assimilation simultanée des différentes formes d'azote inorganique et organique. *Thèse Doct. Univ. Bretagne Occ.*, 167 p.
- Haure J. & J.P. Baud**, 1990 - Croissance, engraissement et mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en baie de Bourgneuf. Comparaison de quatre secteurs ostréicoles. *Rapport Interne IFREMER DVR 90-11/RA-Bouin*, 25 p.
- Haure J. & J.P. Baud**, 1995 - Approche de la capacité trophique dans un bassin ostréicole (Baie de Bourgneuf). *Rapport Interne IFREMER DVR 95-16/RA-Bouin*, 103 p.
- Haure J., Baud J.P. & A. Bodoy**, 1991 - Trophic competition between natural bed of mussel (*Mytilus edulis*) and Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) in the bay of Bourgneuf (Atlantic coast of France). Implication in its management. Poster EAS Dublin, juin, 1991.
- Hecky R.E. & P. Kilham**, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments. A review of recent evidence of the effect of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 33 (4-2) : 796-822.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M. & J. Prou**, 1986 - Dynamique de la production de biomasse des huîtres *Crassostrea gigas* et *Crassostrea angulata* dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. *CIEM CM 1986f* : 41 p.
- Héral M., Razet D., Deslous-Paoli J.M., Manaud F., Truquet I. & J. Garnier**, 1984 - Hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron. Résultats du Réseau National d'Observation de 1977 à 1981. *Ann. Soc. Sc. Nat. de Charentes-Maritimes*, 7 (2) : 259-277.
- Hily C.**, 1976 - Ecologie benthique des pertuis charentais. *Thèse Doct. Univ. Bretagne Occ.* 250p.
- Jacques G., Fiala M., Neveux J. & M. Panouse**, 1976 - Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. 2 : cas d'un milieu eutrophe : Upwelling des côtes du sahara espagnol. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 24 : 165-175.
- Jegou A.M. & J.C. Salomon**, 1988 - Télédétection Loire-Vilaine. *Rapport Interne IFREMER DERO 88-01/DEL-Brest*, 40p.

- Joanny M., Belin C., Claisse D., Moissec L., Berthomé J.P., Groubel A. & B. Raffin,** 1993 - In *Qualité du milieu marin littoral*. Ed. IFREMER, 240 p.
- Kautsky N. & I. Wallentinus,** 1980 - Nutrient release from a baltic mussel red algal community and it's role in benthic and pelagic productivity. *Ophelia*, (supl. 1) : 17-30.
- L.C.H.F.,** 1986 - Le Gois-Fromentine, étude hydraulique et sédimentologique. Avis technique. *Rapport pour TPE Maritimes*. 52 p.
- Lazure P.,** 1989 - Synthèse des études hydrodynamiques de la baie de Bourgneuf. Rapport pour la Préfecture de la région des Pays de la Loire (SESGAR). *Rapport Interne IFREMER DERO/EL*, 89-24, 30 p.
- Lazure P.,** 1992 - Etude de l'hydrodynamique de la baie de Bourgneuf. Rapport pour la Préfecture de la région des Pays de la Loire (SESGAR). *Rapport Interne IFREMER DEL/ 92-24*, 20 p.
- Le Cann B.,** 1982 - Evolution annuelle de la structure hydrologique du plateau continental au sud de la Bretagne. Modélisation numérique. *Thèse Doct. Univ. Bretagne Occ.* 250p.
- Lefrançois J.,** 1988 - Estimation des stocks de moules (*Mytilus edulis* L.) de gisements naturels et de culture sur bouchots dans la baie de Bourgneuf (année 1988). *Rapport DESS Univ. Caen*, 90 p.
- Le Gallo J.Y.,** 1972 - Recherche sur les variations saisonnières de l'épifaune en baie de Bourgneuf. *Thèse Doct. Univ. Bretagne Occ.*, 63 p.
- Lemasson L., Cremoux J.L., & Y. Montel,** 1977 Analyse des rapports C/N/P du seston dans la partie orientale de l'Atlantique équatoriale. *Mar. Chem.*, 5 (2) : 171-181.
- Le Rouzic B.,** 1993. Limitation par l'azote et le phosphore de la croissance des algues planctoniques en zone littorale (Golfe du Morbihan). *Thèse Doct. Univ. Rennes I*, 193 p.
- Maestrini Y. & J.M. Robert,** 1981 - Rendements d'utilisation des sels nutritifs et variation de l'état des cellules de trois diatomées de claires à huîtres de vendée. *Oceanol. Acta*, 4 : 13-21.
- Marion A.,** 1985 - Phytoplancton de la baie de Bourgneuf. Fertilité des eaux néritiques. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 156 p.
- Marion A. & J.M. Robert,** 1985 - Détermination au moyen de tests biologiques, des facteurs nutritionnels intervenant dans la composition spécifique des peuplements phytoplanctoniques printaniers de la baie de Bourgneuf. *J. Rech. Oceanogr.*, 10 (3) : 88-91.
- Martin - Jezequel V.,** 1981 - Succession des populations phytoplanctoniques en relation avec les conditions nutritionnelles dans les eaux littorales de la Manche. *Thèse U.B.O., Brest*, 145 p.

- Maurer D. & M. Borel**, 1986 - Croissance, engraissement et cycle sexuel de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Comparaison des huîtres âgées de 1 et 2 ans. *Haliotis*, 15 : 125-134.
- Maurer D.**, 1989 - Approche des relations entre la croissance de l'huître *Crassostrea gigas* et le milieu dans le bassin d'Arcachon. *Rapport Interne IFREMER DVR/ 89-034/RA/Arcachon*, 33 p.
- Mazurié J. & M.J. Dardignac-Corbeil**, 1988 - Estimation des stocks de moules dans le pertuis Breton en 1987. *Rapport Interne IFREMER DVR/ 88-002/RA/L'Houmeau*, 25 p.
- Mc Carthy J.J.**, 1972 - The uptake of urea by natural population of marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 17 : 738-748.
- Molhenberg F. & H.U. Riisgard**, 1979 - Filtration rate using a new indirect technique in thirteen species of suspension feeding bivalves. *Mar. Biol.*, 54 : 143-147.
- Mounes J.**, 1974 - Le marais breton et ses marges. Etude de géomorphologie et de sédimentologie. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 345 p.
- Navarro E., Iglesias J.I.P., Camacho A.P., Labarta U. & R. Beiras**, 1991. The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lmk.) from different cultivation rafts in the Ria de Arosa (Galicia, N.W., Spain). *Aquaculture*, 94 : 197-212.
- Parsons T.R., Stephen K. & J.D.R. Strickland**, 1961 - On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 18 : 1001-1016.
- Peterson B. & R. Howarth**, 1987 - Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. *Limnol. Oceanogr.*, 32 : 1195-1213.
- Pinckney J.L. & R.G. Zingmark**, 1993a - Photophysiological responses of intertidal benthic microalgal communities to *in situ* light environments : methodological considerations. *Limnol. Oceanogr.*, 38 (7) : 1373-1383.
- Pinckney J.L. & R.G. Zingmark**, 1993b - Modeling the annual production of intertidal benthic microalgae in estuarine ecosystems. *J. Phycol.*, 29 : 396-407.
- Prou J., Pouvreau S. & V. Renaud**, 1994 - Estimation de la biomasse d'huîtres non cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron. *Rapport Interne IFREMER, DRV 94/RA/ La Tremblade*, 27 p.
- Ravail-Legend B.**, 1993 - Incidence du débit de la Charente sur la capacité biotique du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. *Thèse Univ. Nantes*, 171 p.

- Redfield A.C.**, 1934 - On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In *James Johnston Memorial Volume. Liverpool, Univ. Press* : 176-192.
- Riera P. & P. Richard**, 1995 - Isotopic determination of food sources of *Crassostrea gigas* along a trophic gradient in the estuarine bay of Marennes-Oléron. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* Vol 42, 347-360.
- Rincé Y.**, 1978 - Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 203 p.
- Robert J.M.**, 1974 - Etude préliminaire des relations entre l'état de verdissement d'une claire ostréicole et l'examen biométrique de populations planctoniques et benthiques de *Navicula ostrearia* (Bory), pigmentée. *C. R. Acad. des Sc. de Paris*, 278 : 1405-1408.
- Robert J.M.**, 1975 - Le verdissement dans les claires de la baie de Bourgneuf. *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest. Fr.*, 73 : 123-129.
- Robert J.M.**, 1977 - Première données écologiques sur les claires à huîtres de la baie de Bourgneuf. *Bull. Ecol.*, 8 : 57-62.
- Robert J.M.**, 1983 - Fertilité des eaux de claires ostréicoles et verdissement : utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 281 p.
- Robert J.M. & J.C. Amiard**, 1993 - Influence de la Loire sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau de l'estuaire externe et des zones adjacentes. *Bull. Ecol.*, 24 (2-3-4): 78-82.
- Robert J.M., Maestrini S.Y., Héral M. & Y. Zanette**, 1982 - Production de microalgues en claires ostréicoles en relation avec l'azote organique dissous excrété par les huîtres. *Oceanol. Acta. Actes symposium international sur les lagunes cotières. Scor/ IABO UNESCO, Bordeaux, 8-14 Sept. 1981* : 389-395.
- Salomon J.C. & P. Lazure**, 1988 - Etude par le modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. *Rapport Interne IFREMER DERO 88-26/DEL-Brest*, 104 p.
- Sauriau. P.G.**, 1986 - Echantillonnage des populations naturelles de mollusques compétiteurs trophiques des huîtres cultivées *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron : aspects méthodologiques. *Note CIEM CM 1986/K Shellfish Com.*, 30 p.
- Sauriau. P.G.**, 1994 - Bilan sur l'évolution de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Loire (1981-1992). Synthèse finale. *Rapport Univ. Nantes, ISOMER*, 138 p.
- Schéma de mise en valeur de la mer, baie de Bourgneuf (SMVM).**, 1994 - Préfecture de la région des Pays de la Loire, secrétariat général pour les affaires régionales, 112 p.
- Shumway S.E, Cucci T.L., Newell R.C., & C.M. Yentsh**, 1985 - Particle selection, ingestion and absorption in filter-feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 91 : 77-92.

- Shumway S.E, Cucci T.L.,** 1987 - The effects of the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis* of the feeding and behaviour of bivalve molluscs. *Aquat. Toxicol.*, vol 10, n°1, 9-27.
- Slawyk G.,** 1980 - Absorption des composés azotés par le phytoplancton marin : rôle dans la production primaire, relation avec la photosynthèse et les variables du milieu extra et intra cellulaire. *Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II*, 213 p.
- Sornin J.M.,** 1981 - Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture. *Thèse Doct. Univ. Nantes*, 184 p.
- Smaal A.C. & H. Scholten,** 1989 - Modelling interactions shellfish culture and oysterschelde system. *ICES, Symposium on the ecology and managements aspects on extensive mariculture*, 30 p.
- St Felix C., Baud. J.P. & P. Hommebon,** 1983 - Estimation de la biomasse ostréicole de la baie de Bourgneuf en 1982. *Science et Pêche*, 3-9.
- Sullivan M. & C. Moncreiff,** 1988 - Primary production of edaphic algal communities in a Mississippi salt marsh. *J. Phycol.*, 24 : 49-58.
- Sullivan M. & C. Moncreiff,** 1990 - Edaphic algae are an important component of salt marsh food webs : evidence from multiple stable isotope analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62 : 149-159.
- Sundback K.,** 1986 : What are the benthic microalgae doing on the bottom of Laholm bay ? *Ophelia*, 4 : 273-286
- Tréguer P. & J. Le Corre,** 1975 - Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'auto-analyseur TECHNICON II), 2^{ème} éd. Univ. Bretagne Occ., 110 p.
- Van Haren R.J.F. & S.A.L.M. Kooijman,** 1993 - Application of a dynamic energy budget model to *Mytilus edulis* (L.), *Nether. J. of Sea Res.*, 31 (2) : 119-113.
- Vincendeau M.L.,** 1987 - Etude expérimentales de la fertilité des eaux des milieux conchylicoles : influence de l'excrétion des huîtres et des palourdes sur la production des diatomées dominantes. *Thèse Doct. Univ. Paris VI*, 156 p.
- Wright R.T., Coffin R.B., Ersing C.P. & D. Pearson,** 1982 - Field and laboratory measurements of bivalve filtration of natural marine bacterioplankton. *Limnol. Oceanog.*, 27 (1) : 91-98.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats détaillés des études de stocks d'huîtres en 1985, 1986, 1987 et 1988.

Annexe 2 : Evolution mensuelle des vents.

Annexe 3 : Caractéristiques des équipements d'assainissement du bassin versant de la baie de Bourgneuf.

Annexe 1

Résultats détaillés des études de stocks d'huîtres en 1985, 1986, 1987 et 1988.

Tous type de culture confondus

année	site	surface concedée (ha)	surface exploitée (ha)	Ecart- type surf. exploitée	% surf exp/conc taux d'exploita.	Longueur table (m)	densité moy kg/m	stock / strate tonne	stock précision %
1985	Moutiers	109.00	68.43	0.88	62.78	185150	27.25	5045	
	Coupelasse	302.96	207.03	4.70	68.34	427010	27.29	11653	
	Gril	390.43	265.68	6.51	68.05	582090	26.00	15134	
	Graisselous	250.95	120.99	1.77	48.21	254150	27.15	6900	
1986	Moutiers	109.00	63.84	0.53	58.57	155762	30.79	4796	12.00
	Coupelasse	296.05	196.20	1.12	66.27	487900	30.98	15115	8.00
	Gril	390.43	230.52	1.07	59.04	513412	23.41	12019	9.00
	Graisselous	266.08	131.40	1.02	49.38	258906	23.57	6102	8.00
1987	Moutiers	115.74	65.14	1.51	56.28	160520	29.05	4663	14.00
	Coupelasse	321.98	224.62	1.30	69.76	489870	29.45	14427	10.00
	Gril	388.72	235.10	1.26	60.48	506540	34.08	17263	11.00
	Graisselous	281.98	134.26	1.56	47.61	293500	38.60	11329	14.00
1988	Moutiers					199626	37.18	7422	19.00
	Coupelasse					535779	36.10	19342	13.00
	Gril					544475	30.84	16792	18.00
	Graisselous					265893	30.59	8134	25.00

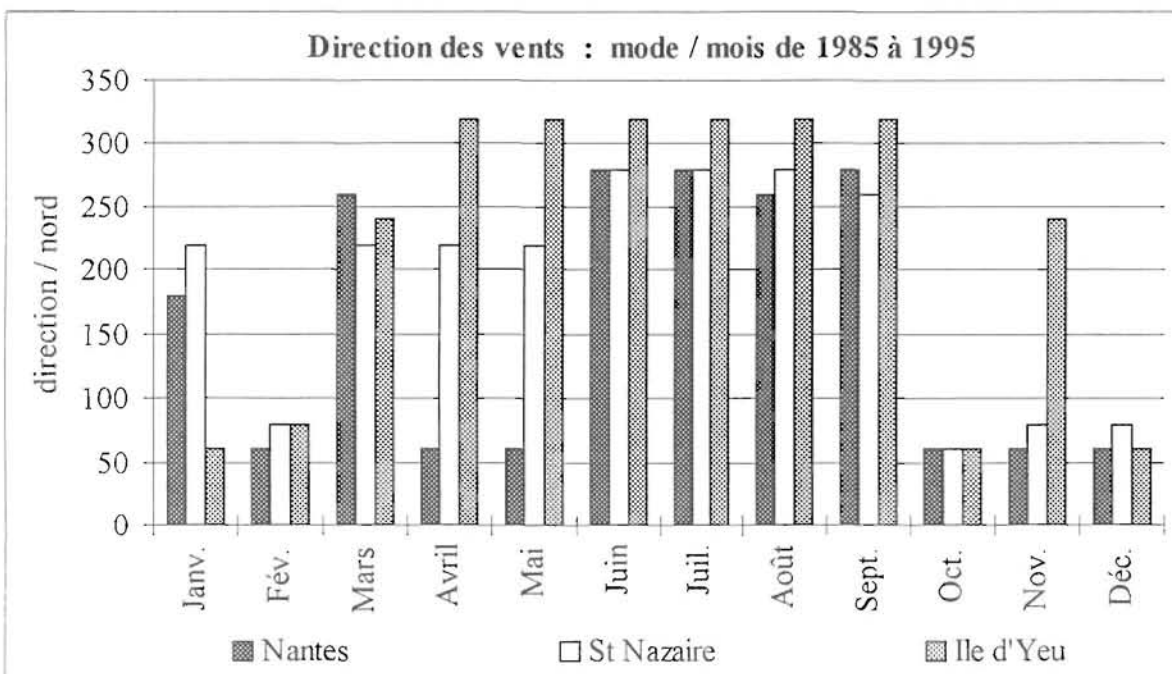
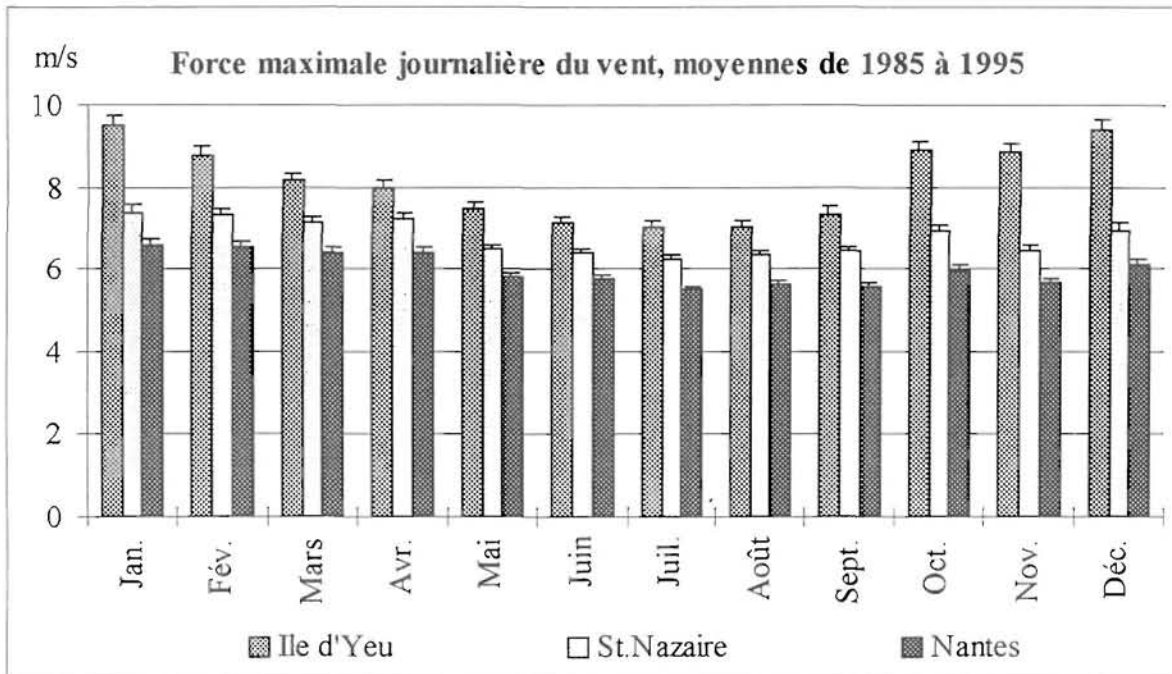
COLLECTEUR 1 AN								
année	site	% type culture	écartype % cult	longueur table	densité (kg/m)	écartype densité	stock (tonne)	écart-type stock
1985	Moutiers	23.43		43382.50	15.67		680	
	Coupe-lasse	29.47		125828.80	21.25		2674	
	Gril	28.68		166942.40	17.65		2947	
	Graisselous	23.35		59346.50	25.49		1513	
1986	Moutiers	29.00	35.00	45170.98	30.19	3.55	1364	1664.9
	Coupe-lasse	22.00	3.00	107338.00	26.91	2.09	2888	454.3
	Gril	29.00	2.00	148889.48	15.44	0.98	2299	215.7
	Graisselous	25.00	4.00	64726.50	15.40	1.38	997	183.3
1987	Moutiers	10.00	4.00	16052.00	15.99	1.85	257	107.5
	Coupe-lasse	8.00	2.00	39189.60	16.54	2.29	648	186.5
	Gril	11.00	2.00	55719.40	15.55	1.68	866	184.0
	Graisselous	12.00	2.00	35220.00	14.35	1.57	505	101.1
1988	Moutiers	24.00	3.00	47910.24	38.70	3.10	1854	275.9
	Coupe-lasse	23.00	3.00	123229.17	39.08	2.73	4816	713.9
	Gril	21.00	3.00	114339.75	28.44	2.70	3252	559.5
	Graisselous	23.00	4.00	61155.39	26.53	2.12	1622	311.3

COLLECTEUR 2 ANS ET PLUS								
année	site	% type culture	écart-type % culture	longueur table	densité (kg/m)	écart-type densité	stock (tonne)	écart-type stock
1985	Moutiers	24.44		45257	50.97		2307	
	Coupe-lasse	18.33		78277	46.82		3665	
	Gril	26.61		154883	40.74		6310	
	Graisselous	11.11		28224	53.19		1501	
1986	Moutiers	13.00	3.00	20249	54.54	3.55	1104	265.3
	Coupe-lasse	24.00	4.00	117096	44.57	3.52	5219	964.9
	Gril	28.00	3.00	143755	35.32	2.39	5077	644.4
	Graisselous	20.00	3.00	51781	35.68	4.13	1848	351.5
1987	Moutiers	15.00	4.00	24078	53.67	9.39	1292	416.5
	Coupe-lasse	32.00	3.00	156758	44.61	3.40	6993	846.3
	Gril	50.00	4.00	253270	49.37	2.36	12504	1166.2
	Graisselous	36.00	4.00	105660	61.87	5.48	6537	931.1
1988	Moutiers	14.00	3.00	27948	48.79	3.41	1364	308.0
	Coupe-lasse	23.00	3.00	123229	44.46	3.11	5479	812.4
	Gril	40.00	4.00	217790	43.67	2.40	9511	1086.5
	Graisselous	23.00	4.00	61155	44.39	4.22	2715	539.9

année	site	POCHE					stock (tonne)	écart- type stock
		% type culture	écart- type % culture	longueur table	densité (kg/m)	écart-type densité		
1985	Moutiers	50.78		94016	25.28		2377	
	Coupelasse	50.83		217067	24.29		5273	
	Gril	43.62		253899	23.06		5855	
	Graisselous	64.25		163280	24.16		3945	
1986	Moutiers	56.00	6.00	87227	26.34	1.16	2298	266.3
	Coupelasse	52.00	5.00	253708	26.33	0.93	6680	684.6
	Gril	41.00	4.00	210499	20.77	0.68	4372	450.1
	Graisselous	53.00	5.00	137220	22.25	0.72	3053	304.6
1987	Moutiers	73.00	5.00	117180	26.38	1.37	3091	265.9
	Coupelasse	59.00	4.00	289023	22.95	0.90	6633	519.8
	Gril	38.00	4.00	192485	19.48	1.17	3750	455.0
	Graisselous	50.00	5.00	146750	26.72	1.36	3921	440.4
1988	Moutiers	61.00	5.00	121772	24.04	0.96	2927	267.0
	Coupelasse	52.00	4.00	278605	24.76	0.99	6898	598.4
	Gril	38.00	4.00	206901	20.42	0.61	4225	462.4
	Graisselous	52.00	5.00	138264	20.84	0.83	2881	300.0

Annexe 2

Evolution mensuelle des vents



Annexe 3

Caractéristiques des équipements d'assainissement
du bassin versant de la baie de Bourgneuf.S.M.V.M. DE LA BAIE DE BOURGNEUF
CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS D'ASSAINISSEMENTS (DÉPARTEMENT DE LA LOIRE-ATLANTIQUE)

Commune	Gestionnaire	Population		Réseau						Station		Observation		
		INSEE 1990	Estivale estimée	Type	Largeur (km)	Poste de reloiement	Branchement	% de Desserte	% de Raccordement	Type	Capacité E/H		Lieu de rejet	
Arthon		2321	2600											
La Benaie Les Mouliers Bourgneuf	S.I.A. de la baie de Bourgneuf	4906	32800	S	62,5	19	3500	80	90	BA + L	15000	étier		
Chauvé	commune	1592	2000	S	1,1	1	44	22	-	L	1000	Hie Perche		
Fresnay	.	846	1000	S	3,5	1	121	90	-	L	500	étier		
Macheucoul	.	5071	6000	S	23	8	1336	90	80	BA	8000	Le Falleron		
Paulx	.	1311	1311	S	3,6	2	178	90	90	L	800	Le Falleron		
Porric	.	9900	35000	S	73,5	24	5918	90	90	BA	22000	Hie Perche		contrat d'aggr.
Préfaillies	SIVOM de la	857	10650	S	12	5	550	60	-			hors SMVM		
St-Etienne-de- Mer-Morte	commune	1042	1150	U	1,8	-	106	80	-	BA	400	Le Falleron		
Touvois	commune	1338	1338	S	3,7	2	216	80	90	LB	800	Le Falleron		

S : séparatif
U : unitaireBA : boue activée
L : lagunageLB : lit bactérien
PC : physico-chimique

pas d'équipement

S.M.V.M. DE LA BAIE DE BOURGNEUF
CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS D'ASSAINISSEMENTS (DÉPARTEMENT DE LA VENDÉE)

Commune	Gestionnaire	Population		Réseau						Station			Observation
		INSEE 1990	Estivale estimée	Type	Largeur (km)	Poste de refoulement	Branchement	% de Desserte	% de Raccordement	Type	Capacité E/H	Lieu de rejet	
Beauvoir	commune	3279	4200	S	21,6	5	1006	90	90	L	3000	Sallertaine	pas d'équipement
Bois de Cené	commune	1256	1900	S	1,8	2	= 100	40	70	L	1000	étier	
Bouin	commune	2268	4000	S	15,7	5	708	100	80	L	3500	étier	
Chateaneuf		520	730										
Falleron	commune	1086	1700	S	5,5	2	250	100	95	BA	700	Le Falleron	
Froidlond	commune	878	960	S	4,5	0	151	90	98	L	500	Le Falleron	
La Garnache	commune	3378	3800	S	8,2	1	250	70	85	BA	1200	ruisseau	
La Barre-de-Monts	commune	1730	17000	S	22,2	14	1369	90	90	P.C.	17000	sous-sol	
Le Perrier	commune	1532	3500	S	3,7	2	127	90	90	L	740	étier	
Ile de Noirmoutier	commune	9163	71300	S	110	70	7059	90	90	BA + L	33620	étier et irrigation	
Notre-Dame-de-Monts	commune	1336	40000	S	25	11	1800	90	90	BA	16000	sous-sol	
St-Gervais	commune	1543	3000	S	2,4	2	174	80	50	L	1500	ruisseau	
St-Jean-de-Monts	*	5902	83000	S	63	26	2960	70	90	PC + BA	92700	sous-sol	
St-Urbain		621	1220										
Sallertaine	commune	2242	2908	S	1,2	2	40	10	100	L	910	Sallertaine	
Challans	*	14000	16000	S	?	23	4600	85	95	BA			

S : séparatif
U : unitaire

BA : boue activée
L : lagunage

LB : lit bactérien
PC : physico-chimique

RIDRV97

N° RI DRV	DEPARTEMENT	LABORATOIRE	AUTEURS	TITRE	DATE SORTIE	DIFFUSION	NB PAGES	TIRAGE
97/01	RA	Physiologie des Poissons	J.L. Gaignon, L. Quéméner, A. Fauré, Y. Harache	Croissance et survie marines de post-smolts de saumons atlantiques (<i>Salmo salar</i>) : effets de leur origine, de l'alimentation, des structures et des techniques d'élevage.	fév-97	libre	44	50
97/02	RA	U.R.A.P.C. La Tremblade	P. Gouletquer	A Bibliography of the Manila Clam <i>Tapes philippinarum</i>	mar-97	libre	120	100
97/03	RA	Martinique	B. Noguerra	Elements de biologie et données d'élevage de la dorade coryphène (<i>Coryphaena hippurus</i> , L.1758) : synthèse bibliographique	avr-97	libre	30	50
97/04	RA	CREMA L'Hourmeau	N. Brossard, J. Hussenet	Maîtrise de la culture de masse de la diatomée <i>Skeletonema costatum</i> en système ouvert et continu sur un milieu en "eau de mer enrichie"	avr-97	restreinte	37	60
97/05	RA	L.C.P.L Bouin	J.P. Baud, E. Goyard	Programme qualité des huîtres creuses <i>Crassostrea gigas</i> : 1ere année, (1995).	avr-97	libre	59	40
97/06	RA	Martinique	J.C. Falguière, O. Denis, V. Vianas, A. Sévère, G. Boeuf	Evaluation de la capacité d'adaptation à l'eau de mer de la souche hybride de tilapia rouge exploitée en eau douce aux Antilles françaises	avr-97	libre		50
97/07	RA	L.R.C.N. Port-en-Bessin	J. Kopp, J-P. Joly, E. Le Gagneur, F. Ruelle	Biomasses ostréicoles et mytilicoles de Normandie en 1995	mai-97	libre	65	100
97/08	RH	Martinique	G. Paulmier, F. Durand	Les peuplements benthiques du plateau insulaire de la Martinique et des zones bathyales adjacentes. Cas particulier de la malacofaune.	jun-97	libre	74	30
97/09	RH	ECOHAL Nantes	D. Halgand, G. Arzul, E. Erard-Le-Denn, L.Fiant, J. Huet, F. Quiniou, J. Le Claire	Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 1996	jun-97	restreinte	130	
97/10	RH	Martinique	A. Guillou, A. Lagin	Engins et techniques de pêche de la Martinique	jul-97	libre	215	25
97/11	RA	Brest	N. Devauchelle	Rapport du Groupe de travail sur " la reproduction naturelle et contrôlée des bivalves cultivés en France", Nantes nov 95	oct-97	libre		
97/12	RH	L'Hourmeau	G. Paulmier	Atlas des invertébrés du golfe de Gascogne inventoriés dans les captures des chaluts. Campagnes RESSGASC 1992-1995 et EVHOE 1995	oct-97	libre	100	20
97/13	RA	La Tremblade	P. Soletchnik, N. Faury, D. Razet, P. Geairon, P. Gouletquer	Physiologie de la maturation et de la ponte de <i>Crassostrea gigas</i> . Résultats d'expériences conduites en 1996	oct-97	libre	23	50

