

Variabilité spatio-temporelle de la distribution, de la croissance et de la survie des juvéniles de *Pecten maximus* (L.) issus des pontes 1985, en baie de Saint-Brieuc

Baie de Saint-Brieuc
Pecten maximus
Juvéniles
Distribution
Croissance

Bay of Saint-Brieuc
Pecten maximus
Juveniles
Repartition
Growth

Gérard THOUZEAU ^a Didier LEHAY ^b

^a Unité Associée n° 711 du Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire d'Océanographie Biologique, Université de Bretagne Occidentale, 6, avenue Le Gorgeu, 29287 Brest Cedex.

^b Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, 6, avenue Le Gorgeu, 29287 Brest Cedex.

Reçu le 15/7/87, révisé le 5/2/88, accepté le 8/2/88.

RÉSUMÉ

La répartition spatiale en baie de Saint-Brieuc des juvéniles de *Pecten maximus* (L.) issus des pontes de l'été 1985 est étudiée en adaptant la technique A.QUA.R.E.V.E., mise au point par Thouzeau et Hily en 1985, pour l'analyse quantitative de la macrofaune épibenthique des fonds meubles.

L'efficacité de l'engin, contrôlée par suivi des traits en plongée, est supérieure à 80%, lorsque les conditions météorologiques sont favorables.

Une hétérogénéité spatiale de la distribution des juvéniles est montrée, en liaison avec des facteurs abiotiques : nature sédimentaire des fonds, hydrodynamisme, et des facteurs biotiques : répartition du stock de géniteurs, localisation temporelle et durée des phases larvaires.

Des différences de croissance sont observées au sein du gisement, avant le premier hiver : il existe un gradient de hauteur décroissant de la côte vers le large, les individus échantillonnés en fond de baie présentant la plus forte croissance. Ces différences s'expliquent par la présence de gradients bathymétrique, trophique et thermique.

La croissance est plus homogène entre le premier et le second hiver; seuls les juvéniles du fond de la baie ont une croissance moyenne significativement différente de celles des individus des autres secteurs.

La mortalité affectant les juvéniles est essentiellement hivernale; elle varie selon les secteurs considérés. La survie des cohortes émises en fin de période de reproduction est inférieure à celle des individus issus des premières pontes.

Les causes de mortalité diffèrent selon les zones étudiées; l'effort de pêche sur le stock d'adultes, l'instabilité hydrodynamique des petits fonds exposés à l'action des houles sont deux des facteurs de mortalité. L'impact des facteurs biologiques, tels la compétition et la prédation, reste à définir.

Oceanol. Acta, 1988, 11, 3, 267-283.

ABSTRACT

Spatio-temporal variability of the distribution, growth and survival of *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning, in the Bay of Saint-Brieuc

The distribution of *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning is studied by adjusting the A.QUA.R.E.V.E. system, set up by Thouzeau and Hily in 1985 for a quantitative analysis of sandy epibenthic macrofauna.

The efficiency of A.QUA.R.E.V.E., controlled by diving, is more than 80%, given good weather conditions.

Juvenile distribution is heterogeneous, due to abiotic factors (sedimentary constitution, hydrodynamic conditions), and biotic factors (adult distribution, larval periods).

Growth differences were observed in the Bay of Saint-Brieuc, before the first winter: there is a decreasing height gradient from coast to open sea. Growth is higher at onshore stations. Bathymetric, trophic and thermic gradients explain these differences. Growth is more homogeneous between the first and the second winter; only the onshore juveniles have a mean growth that is significantly different.

Mortality affecting juveniles essentially occurs in winter, and differs according to the zone. The survival of cohorts spawned at the end of the reproductive period is lower than that of individuals produced from the first spawnings.

The causes of mortality differ in the zones studied; fishing effort on the adult stocks and the hydrodynamic instability of shallow areas exposed to wave action are two factors which affect mortalities. The impact of such biological factors as competition and predation remains to be determined.

Oceanol. Acta, 1988, 11, 3, 267-283.

INTRODUCTION

La baie de Saint-Brieuc constitue le premier gisement producteur de *Pecten maximus* des côtes françaises, tant en valeur absolue qu'en rendement d'exploitation. Cependant, l'équilibre précaire de la ressource a révélé une surexploitation du stock, ce qui s'est traduit par une production divisée par 3 entre 1977 et 1985, la production actuelle variant entre 3 et 4 000 tonnes.

Afin de mieux connaître les mécanismes responsables des fluctuations du recrutement de l'espèce, un programme national sur le déterminisme du recrutement de *Pecten maximus* a été engagé par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) depuis 1985. L'identification et la quantification des facteurs biotiques et abiotiques ayant une influence sur le déroulement des différentes phases du cycle ontogénique de l'espèce en sont les objectifs.

Dans ce cadre, la métamorphose et l'arrivée sur le fond des jeunes post-larves constituent l'un des stades critiques du cycle reproducteur. La localisation des zones de fixation des post-larves, l'identification des facteurs conditionnant cette distribution, l'étude de la croissance et de la survie des post-larves et juvéniles, font l'objet des présents travaux. L'impact des interactions biologiques comme la compétition et la prédation, dans la régulation de la croissance et de la mortalité, sera publié ultérieurement.

L'échantillonnage des juvéniles de *Pecten maximus* a été réalisé en adaptant la technique A.QUA.R.E.V.E. (Application QUAntitative d'un Rabot Épibenthique avec contrôle Vidéo de l'Échantillonnage) mise au point par Thouzeau et Hily en 1985, pour l'analyse quantitative de la macrofaune épibenthique des fonds meubles de la baie de Saint-Brieuc.

L'optimisation de la taille de l'échantillon pour *Pecten maximus*, dont les juvéniles présentent des densités le plus souvent inférieures à 0,5 individus/m², a nécessité la conception d'un nouvel engin: l'A.QUA.R.E.V.E. II. Ce dernier permet d'augmenter la surface échantillonnée, afin d'estimer correctement la dispersion spatiale des individus.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

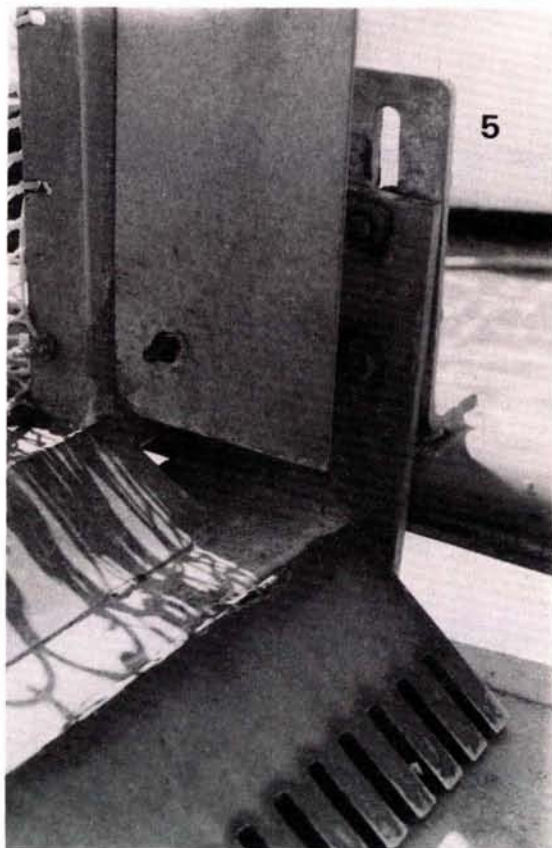
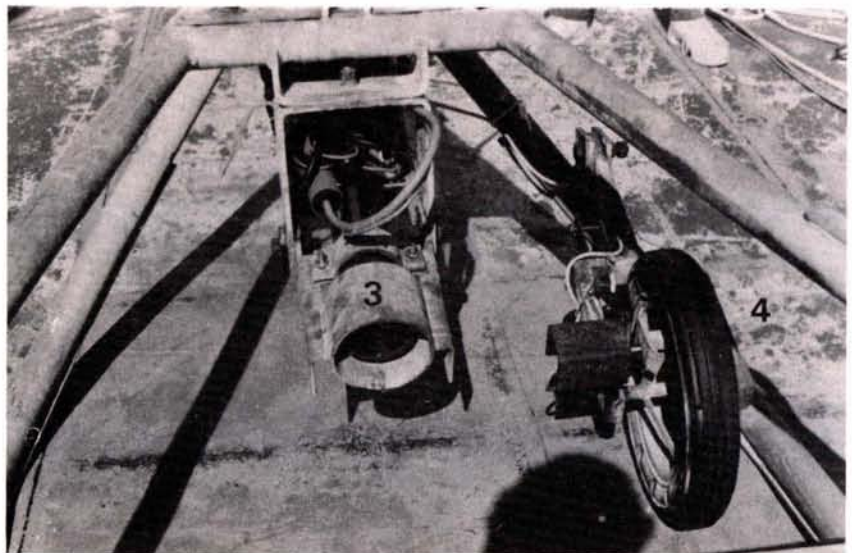
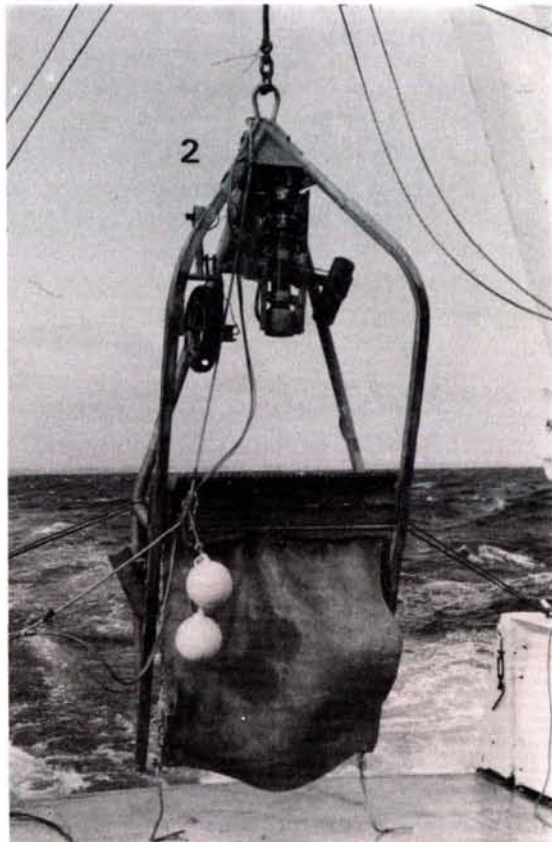
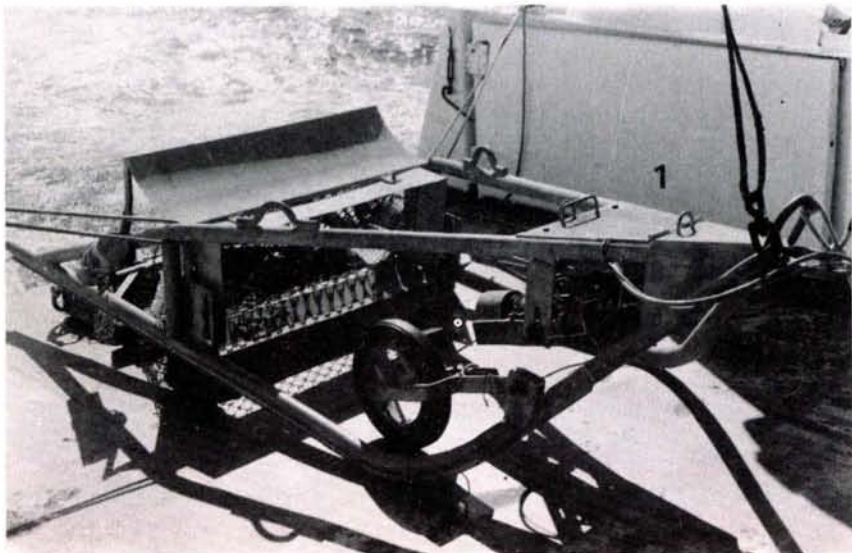
Technique d'échantillonnage

L'étude quantitative de la distribution d'espèces épibenthiques à faibles densités fait souvent appel à des systèmes photographiques couplés avec une caméra vidéo sous-marine. Sur la côte Est du continent américain, Caddy (1970) dans le golfe du Saint Laurent, Langton et Robinson (1987) dans le golfe du Maine, ont montré l'intérêt de ces techniques pour évaluer la répartition spatiale de *Placopecten magellanicus*; alors que Anonyme (1970) et Cummins (1971) ont utilisé la vidéo pour estimer le stock d'*Argopecten gibbus* du Cap Kennedy. Ces techniques s'avèrent très coûteuses, puisque développées à partir de submersibles ayant ou non un observateur à bord. En Europe, Franklin *et al.* (1980), d'après Holme et Barrett (1977), Chardy *et al.* (1980), Merrien (1980), Mason *et al.* (1983), Dare (1987), ont utilisé l'analyse d'images pour étudier la répartition de *Pecten maximus* en Manche ouest, rade de Brest, et dans les eaux écossaises.

Ces systèmes de dénombrement ne permettent pas d'estimer quantitativement les premières classes de taille, Franklin *et al.* (*op. cit.*) fixant la taille minimale observable à 40 mm pour *Pecten maximus* (images vidéo), alors que Dare (*op. cit.*) fixe la limite inférieure à 25 mm sur les photographies, mais ne prend en compte que les individus dont la largeur est supérieure à 35 mm, lors des calculs de densités.

D'autre part, l'échantillonnage des premiers stades benthiques à l'aide de bennes n'est que rarement applicable, la surface de prélèvement étant insuffisante pour avoir une estimation correcte de la distribution spatiale des individus. Seuls Larsen et Lee (1978) ont observé de fortes densités de naissain de *Placopecten magellanicus* sur le Georges Bank (1,7 à 123 individus/m²), en échantillonnant par benne.

La technique A.QUA.R.E.V.E., utilisée en baie de Saint-Brieuc, a été décrite par Thouzeau et Hily (1986); elle se résume ainsi: les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un traîneau-drague qui écrème la surface des fonds. L'utilisation d'une caméra vidéo sous-marine,



Planche

Caractéristiques de l'A.QUA.R.E.V.E. II : 1)-2) Bâti du traîneau-drague. 3) Caméra vidéo sous-marine. 4) Roue odométrique. 5) Système de dragage. 6) Électronique de surface : M = magnétoscope, C = compteur d'impulsions, T = moniteur télévision, A = alimentation.

A.QUA.R.E.V.E. II characteristics: 1)-2) Dredge structure. 3) Video system. 4) Odometric wheel. 5) Dredging system. 6) Electronic equipment on board: M = video tape, C = impulse counter, T = video screen, A = power pack.

fixée sur le bâti et tournée vers l'ouverture de la poche de dragage, permet de contrôler simultanément l'efficacité du travail de l'engin. De plus, l'observation du déroulement du trait permet également d'en fixer la longueur, en fonction du taux de remplissage de la

poche. La distance parcourue sur le fond est mesurée par une roue odométrique; la lecture s'effectue instantanément en surface par visualisation sur un compteur d'impulsions placé à côté du moniteur de télévision.

Le nouveau bâti (planche) a un cadre dont l'ouverture

est de 1 m de largeur, ce qui permet d'augmenter la taille des échantillons par rapport au bâti troïka de Laban *et al.* (1963).

La surface échantillonnée varie selon le sédiment de 13 m² sur les fonds grossiers hétérogènes à 25 m² en moyenne sur les sables, avec une poche à mailles carrées de 10 mm de côté. La répartition des masses a été calculée pour que le centre de gravité de l'ensemble se trouve au niveau de la lame de drague. L'adjonction de lests en arrière du cadre et d'un déflecteur situé au-dessus de la lame, diminue les risques de « soulagement » (décollement) du traîneau sur des fonds durs. La roue odométrique a été déplacée sur l'avant du bâti, et son « débattement » calculé pour qu'elle ne soit plus en contact avec le fond lorsque la lame cesse de travailler. Un compteur mécanique peut donc être substitué au système de comptage électronique lorsqu'on ne désire pas utiliser le matériel vidéo, sans qu'il y ait majoration de la longueur réelle du trait. Le système de réglage en hauteur de la lame a été modifié. Les cales ont été remplacées par un double rail sur lequel est boulonnée la lame.

Le maillage de la poche de drague, le type de lame et le diamètre des perforations du tamis ont été adaptés à la taille des individus que l'on souhaite capturer. Ainsi, l'échantillonnage des jeunes, classes 1 (mars 1986) et celui des classes 0 (novembre 1986) ont été réalisés avec une poche à mailles carrées de 10 mm de côté; celui des classes 1 âgées (août 1986), avec une poche à mailles de 20 mm de côté. Une poche métallique à anneaux de 40 mm de diamètre a été utilisée en mars 1987 pour les jeunes classes 2. Deux lames différentes ont été employées : une lame pleine (classes 0 et jeunes classes 1) et une lame en forme de peigne présentant un écartement des dents de 10 mm (classes 1 âgées et classes 2).

Le tamisage des prélèvements a été effectué à l'aide d'une table de tri de type calibreuse, sur laquelle une grille présentant des perforations rondes (diamètre :

10 ou 20 mm) a été adaptée. Le tri proprement dit n'intervient qu'après le lavage du sédiment et le fonctionnement de la table.

Efficacité de l'engin de prélèvement

La validité de l'échantillonnage des juvéniles de *Pecten maximus* par l'A.QUA.R.E.V.E. II a été contrôlée par suivi des traits en plongée. Les cinq stations choisies correspondent à des zones à forte concentration de juvéniles. Elles recouvrent les différents types sédimentaires rencontrés lors de l'échantillonnage et sont réparties sur toute la baie. Vingt plongées ont été effectuées en mars 1987 (échantillonnage des jeunes classes 2), le travail du plongeur consistant à passer dans le sillage du traîneau et à récolter les coquilles non pêchées par l'engin.

Les traits ont été réalisés dans les conditions habituelles d'échantillonnage : même vitesse de traîne, même longueur de trait. Le départ sur le fond du traîneau n'a lieu qu'après un signe du plongeur devant la caméra, indiquant qu'il est en position, de manière à ce qu'il ne perde pas la trace.

Les résultats contenus dans le tableau 1 démontrent une efficacité moyenne supérieure à 80 %, quel que soit le type sédimentaire, lorsque les conditions météorologiques sont favorables (vent faible et absence de houle surtout). Par contre, lorsque la houle d'Ouest-Nord-Ouest pénètre dans la baie, l'efficacité du traîneau diminue. L'A.QUA.R.E.V.E. a alors tendance à travailler moins profondément lors des accélérations provoquées par les à-coups dus à la houle. Plusieurs essais en conditions limites de sécurité pour le matériel électronique (vent > 25 nœuds et houle > 1 m) ont montré que l'échantillonnage n'était plus significatif; ni la longueur de traîne, ni la vitesse ne pouvant être contrôlées.

L'efficacité de l'engin de prélèvement a été testée sur de jeunes classes 2 qui sont enfouies dans de petites

Tableau 1

Efficacité de l'A.QUA.R.E.V.E. pour l'échantillonnage des juvéniles de *Pecten maximus*.

The efficiency of A.QUA.R.E.V.E. in sampling Pecten maximus juveniles.

N° station D, Eff moy.	Profondeur (m)	Vent (nœuds)	État mer	Surface éch. (m ²)	CL2 P.m. Drague	CL2 P.m. Plongée	Densité (N/m ²)	Efficacité (%)
- 98 -	22			18	6	1	0,39	86
	22			18	6	2	0,44	75
D=0,31/m ²	21	< 5 nœuds	Belle	20	4	1	0,25	80
E1=82%	21			25	7	1	0,32	88
	21	25-30 nds	Agitée	30	1	6	0,23	14
E2=27%	21	SW	Houle W	27	2	6	0,30	25
	20		> 1 m	24	3	4	0,29	43
- 126 -	27			15	4	0	0,27	100
	28			20	4	1	0,25	80
D=0,35/m ²	28	< 2 nœuds	Belle	17	7	2	0,53	78
E3=84%	27			19	6	1	0,37	86
- 128 -	25	10-15 nds	Clapot	24	4	1	0,21	80
E4=86%	25			14	2	0	0,14	100
- 134 -	23	15 nds NW	Peu	15	5	2	0,47	71
	24	puis	agitée	26	6	2	0,31	75
D=0,34/m ²	24	20-25 nds	Creux 0,6 m	11	2	1	0,27	67
E5=67%	24			18	3	3	0,33	50
- 131 -	19	25 nds NW	Agitée	21	3	4	0,33	43
D=0,27/m ²	19	puis	Houle 1 m	18	4	1	0,28	80
E6=50%	19	30 nds		27	2	4	0,22	33

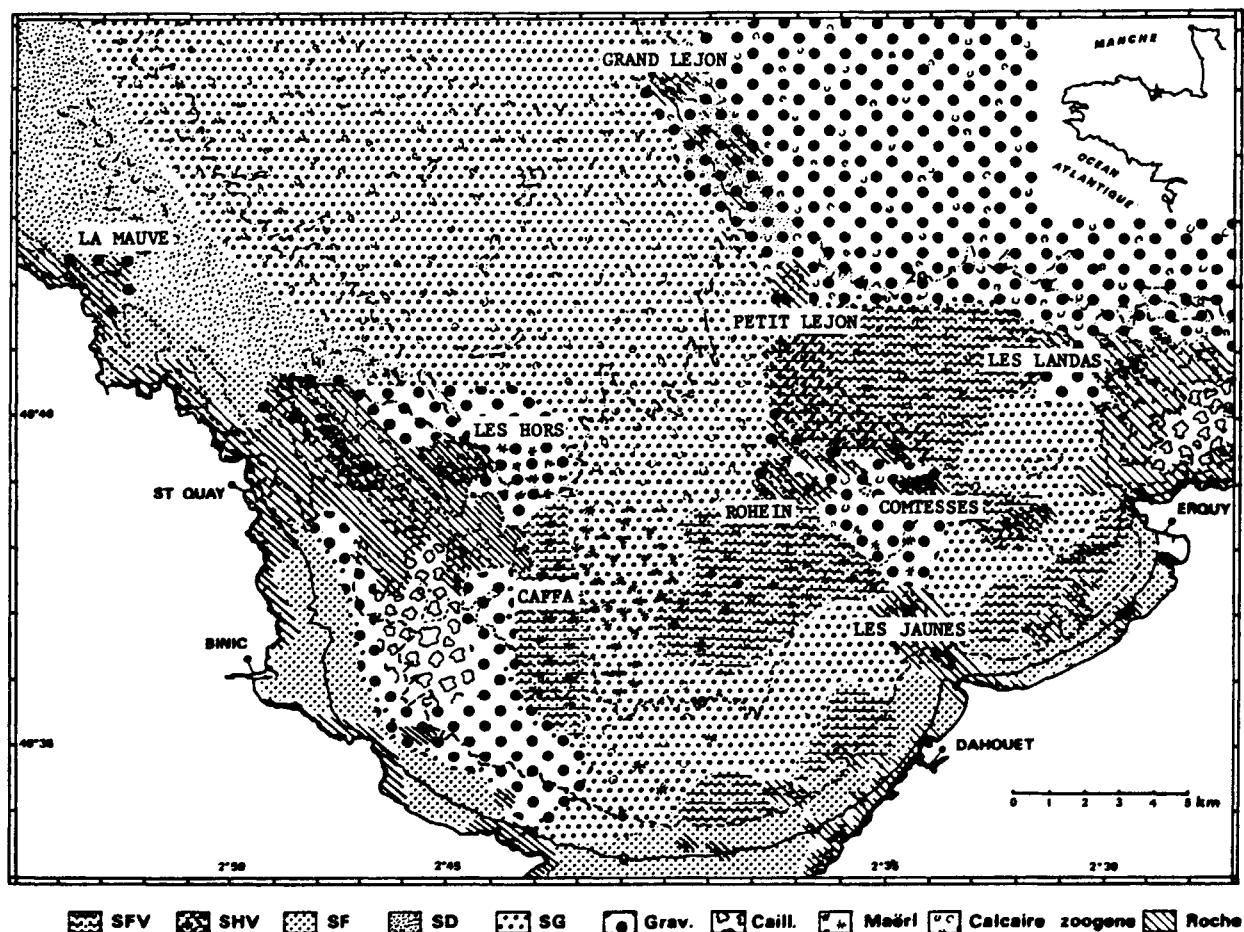


Figure 1

Carte biosédimentaire des fonds de la baie de Saint-Brieuc d'après Larsonneur (1979).

Biosedimentary map of Saint-Brieuc Bay from Larsonneur (1979).

« cuvettes » creusées dans le sédiment. Le traîneau étant conçu pour un écrémage de la surface des fonds, l'efficacité pour les premiers stades benthiques fixés sur des supports doit être supérieure. La vérification en est difficilement réalisable, les coquilles de 10-20 mm de hauteur échappant au regard du plongeur.

L'engin d'échantillonnage est donc fiable; à titre comparatif, l'efficacité moyenne des dragues, employées sur les pêcheries de pectinidés, varie pour les classes d'âge exploitées de 12-17% (Dickie, 1955; Caddy, 1971; drague canadienne) à 14-27% (Chapman *et al.*, 1977; drague anglaise); l'efficacité maximale étant obtenue avec la drague à volets type Erquy, soit 30% pour des fonds durs et 67% pour les fonds mous (Buestel, Gohin, 1985).

Stratégie d'échantillonnage

La stratégie retenue pour l'échantillonnage des juvéniles de *Pecten maximus* est de type échantillonnage stratifié. Le critère de stratification choisi a été dans un premier temps la nature granulométrique des fonds, et la carte sédimentaire réalisée par Larsonneur (1979) a servi de support à l'établissement des strates (fig. 1).

Le choix de la nature sédimentaire comme stratificateur se justifie dans la mesure où les larves pédivéligères présentent un comportement exploratoire avant de se fixer (Comely, 1972; Minchin, 1976; Cragg, 1980). Lorsque le substrat n'est pas propice à la fixation

(absence de supports), les larves peuvent quitter le fond et être remises en « suspension » de manière à aller explorer un autre secteur, au gré des courants. Il y a donc une corrélation étroite entre la probabilité de distribution des post-larves et juvéniles, et la nature sédimentaire.

A l'intérieur des strates, un échantillonnage systématique a été appliqué, l'échelle de la carte de Larsonneur (1/500 000^e), pour la baie de Saint-Brieuc, nous interdisant de fixer avec précision le nombre et les limites des strates. Ce choix a également été dicté par le manque de connaissances antérieures sur l'hydrodynamisme de la baie, la nature des peuplements épibenthiques, les qualités trophiques du milieu, qui sont autant de stratificateurs potentiels. D'autre part, les stations d'échantillonnage étant supposées auto-corrélées positivement (deux stations proches géographiquement et présentant les mêmes caractéristiques hydrodynamiques, sédimentaires, faunistiques, doivent présenter des densités comparables de juvéniles), une répartition en quinconce des stations (Matern, 1960, *in* Frontier, 1983) a été adoptée. Cet échantillonnage systématique en quinconce maximise la distance entre les relevés (Matern, *op. cit.*) et évite les phénomènes de redondances et les défauts d'information dans la répartition de la variable étudiée, ce qui peut être le cas avec un échantillonnage aléatoire simple (EAS), lorsqu'il comporte, par le fait du hasard, des relevés très rapprochés et d'autres très éloignés (Frontier, *op. cit.*).

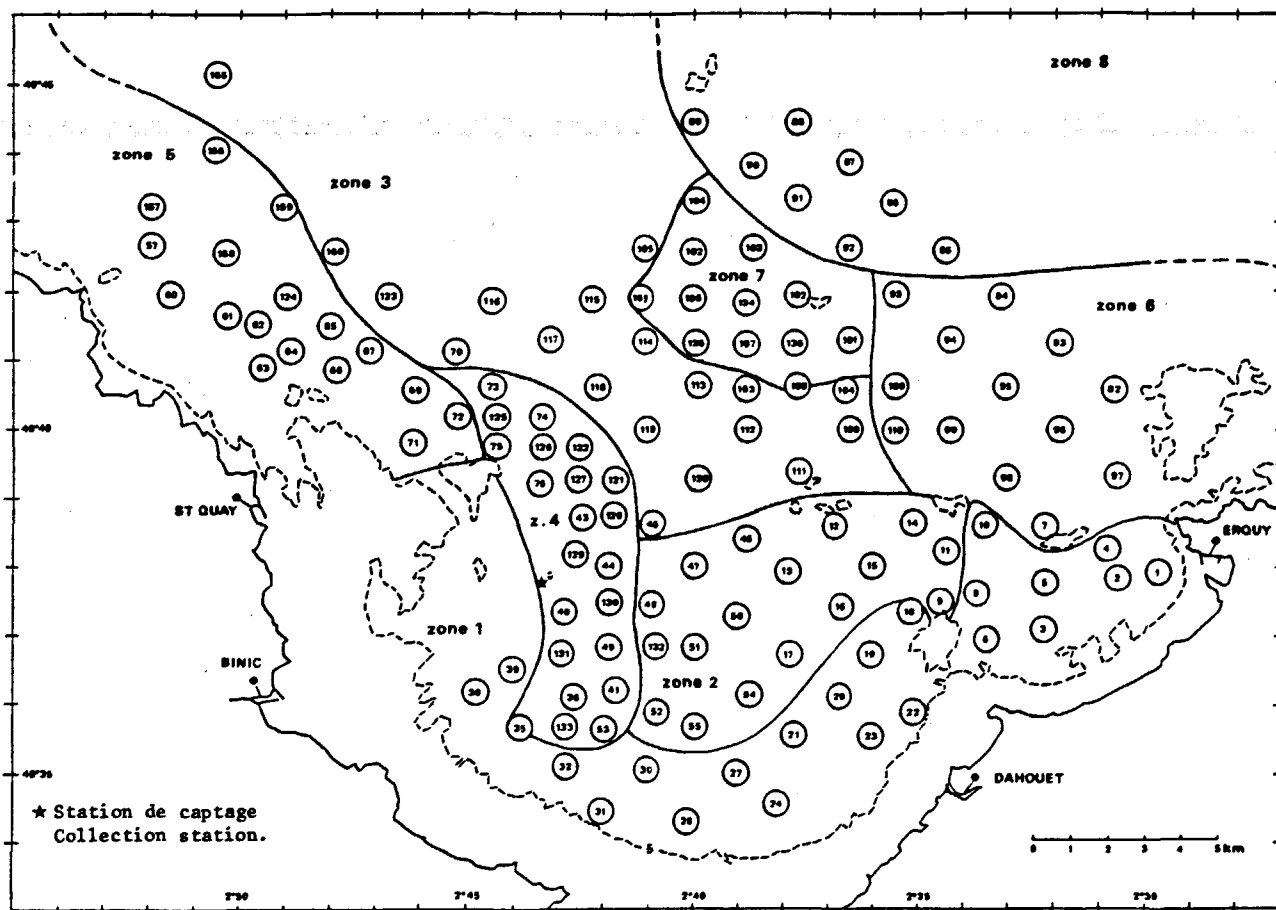


Figure 2

Stations d'échantillonnage et représentation des zones délimitées à partir de la distribution observée des juvéniles de *Pecten maximus*.
 Sampling stations and individualized zones from the observed distribution of *Pecten maximus* juveniles.

En mars 1986, 106 stations ont ainsi été échantillonnées (fig. 2). Dans un premier temps, le plan réalisé en octobre 1985 pour la cartographie des peuplements épibenthiques de la baie, a été reconduit (80 stations). Les premiers résultats, concernant la distribution des juvéniles de *Pecten maximus*, ont permis d'utiliser la variable étudiée comme nouveau critère de stratification. Des zones cibles ou zones privilégiées de fixation ont été définies pour lesquelles les stations ont été multipliées de manière à préciser la variance des densités observées (zones 4 et 7 de la fig. 2). L'échantillonnage a été reconduit en août (zones cibles uniquement), novembre 1986 et mars 1987.

L'étude spatio-temporelle a permis de suivre la croissance des individus issus des pontes de l'été 1985 et de quantifier la mortalité s'exerçant sur les stades juvéniles après deux hivers. Les fixations de juvéniles issus des pontes de l'été 1986 ont été recherchées en novembre 1986. L'étude des fluctuations interannuelles de pré-recrutement fera l'objet d'une publication ultérieure.

RÉSULTATS-DISCUSSION

Nature sédimentaire des fonds

Les sédiments de la baie de Saint-Brieuc (fig. 1) appartiennent pour l'essentiel à la série biogène calcaire défi-

nie par Chassé et Glémarec (1976). A l'exception d'une bande côtière correspondant grossièrement à l'isobathe 10 m, où la fraction organogène constitue 30 à 50% des éléments, cette dernière représente 50 à 70% du sédiment sur l'ensemble de la baie.

Le caractère abrité de cette dernière permet de retrouver une série sédimentaire complète, avec un gradient granulométrique qui croît d'Ouest en Est au fur et à mesure que l'effet d'abri diminue, et du Sud au Nord selon l'influence croissante des courants de marée (Retière, 1979).

Les plages côtières sont constituées entre 0 et 10 m de sables terrigènes, avec une série de décantation pélique comprenant des sables fins envasés localisés entre -5 et -7 m sur la côte est de la baie.

Cette zone correspond au « niveau d'énergie minimum » défini par Retière (*op. cit.*), résultant des limites d'intervention de la marée et de la houle. La circulation résiduelle de marée y est quasiment nulle (Pingree, Maddock, 1977).

Les sables fins sont remplacés entre -10 et -20 m par des sables grossiers ($1 \text{ mm} < \text{médiane} < 2 \text{ mm}$) zoogènes ou phycogènes (débris de maërl > 20%), s'étendant au nord-ouest de la baie. La présence d'enclaves rocheuses : roches de Saint-Quay à l'Ouest, Petit Léjon - Rohein - Comtesses - Les-Landas - Les-Jaunes à l'Est, entraîne des modifications locales de l'hydrodynamisme permettant le dépôt d'éléments fins; les sédiments sont alors constitués de sables hétérogènes enva-

sés. La fraction fine ($< 40 \mu\text{m}$) peut y dépasser 60% d'après Beigbeder (1967). La porosité de « sédiments pièges », que constituent les fonds de maërl du centre baie, s'ajouterait d'autre part aux variations hydrodynamiques, pour favoriser la rétention de ces dépôts (Hommeril, 1967).

Au large de Binic, le renforcement des courants de marée, canalisés vers le chenal de Saint-Quay, se traduit par des fonds composés de graviers (médiane $> 2 \text{ mm}$) et de cailloutis.

Les sédiments graveleux, localisés en bordure des plateaux rocheux, se retrouvent dans le secteur nord-est de la baie, à partir de -18 m .

La dernière caractéristique sédimentaire des fonds de la baie de Saint-Brieuc concerne la présence de dunes hydrauliques, constituées de sables coquilliers, localisées au nord-ouest de la baie (étirement Nord-Ouest-Sud-Est, parallèlement à la côte). Ces bancs témoignent d'une divergence de flux accompagnée d'une perte de l'intensité hydrodynamique (Hommeril, *op. cit.*; Chassé, Glémarec, *op. cit.*).

Peuplements benthiques des fonds meubles de la baie

La nature sédimentaire des fonds meubles de la baie induit l'existence de trois peuplements selon Retière (*op. cit.*):

— Un peuplement des sédiments fins, caractérisé par deux faciès: celui des sables fins gris en fond de baie (limite bathymétrique inférieure = $10-12 \text{ m}$), à *Hyalinocia bilineata*, *Spisula subtruncata*, *Tellina fabula*; et un faciès des sédiments hétérogènes plus au large ($12 \text{ à } 25 \text{ m}$), à *Sthenelais boa*, *Ampharete grubei*, *Nucula hauleyi*, servant de transition entre le faciès des sables fins gris et le peuplement suivant.

— Un peuplement des sédiments grossiers sablo-graveleux à *Amphioxus lanceolatus*, *Glycymeris glycymeris* et épifaune sessile réduite, caractérisé par un faciès d'appauvrissement climatique au nord de la baie (jusqu'à $30-35 \text{ m}$) et un faciès édaphique (dunes des bancs de Paimpol) où prédomine l'endofaune.

— Un peuplement des cailloutis à épibiose sessile, entre le peuplement précédent et celui des fonds durs, représenté par un faciès climatique dont les espèces constantes sont *Venus ovata*, *Tapes rhomboïdes*, *Pisidia longicornis*, *Anapagurus hyndmanni* et *Nucula nucleus*.

Répartition spatiale des juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes 1985

Remarque: on appellera pré-recrutement les juvéniles, le recrutement désignant les adultes ayant atteint la taille commerciale (102 mm de longueur totale).

La répartition spatio-temporelle des juvéniles de *Pecten maximus*, issus des pontes de l'été 1985, est représentée sur les figures 3 à 6. La figure 3, concernant l'estimation du pré-recrutement avant l'hiver 1985-1986 (classes 0), est obtenue en cumulant les données de mars 1986 où les individus vivants et morts (dont les coquilles étaient identifiables: présence des deux valves

ou du ligament, nacre non altérée) étaient comptés simultanément à chaque station d'échantillonnage. C'est une valeur minimale du pré-recrutement avant l'hiver qui est ainsi obtenue, la mortalité totale n'étant pas observée.

Les cartographies de densités montrent une grande variabilité de la répartition des juvéniles suivant les secteurs.

La comparaison par un test du Chi 2 de la distribution observée des pré-recrues, avant le premier hiver, avec celle théorique calculée suivant la loi de Poisson de paramètre $\bar{x} = 1,62$ ($n = 106$), indique que la différence est significative au seuil de 1% pour un nombre de degrés de liberté égal à 3 ($\chi^2 \text{ calc.} = 68,36 \gg \chi^2 \text{ théor.} = 16,27$). Les juvéniles ne sont donc pas répartis au hasard sur les fonds de la baie; par contre, le test du Chi 2 n'infirme pas l'hypothèse d'une distribution selon la loi binomiale négative de paramètres $p = 2,09$ et $k = 0,776$ (d'après Elliott, 1977): $\chi^2 \text{ calc.} = 6,17 < \chi^2 \text{ théor.} = 14,07$ au seuil de 5% pour 7 degrés de liberté. Les pré-recrues sont réparties en agrégats sur les fonds (distribution surdispersée à l'échelle de la baie); la figure 7 illustre la comparaison entre les modèles théoriques de distribution et la répartition observée. Cette hétérogénéité spatiale nous a conduits à regrouper les stations, selon un critère géographique et sédimentaire (abondance des supports permettant la fixation), en huit zones pour lesquelles des densités moyennes ont été calculées:

$$D \text{ moy.}/\text{m}^2 = A/S$$

où A = abondance totale et S = surface totale échantillonnée pour la zone considérée.

En 1985, la partie ouest de la baie (zone 4: Caffa-Les Hors) constitue le secteur privilégié de pré-recrutement des post-larves de coquilles Saint-Jacques. Les densités observées sont supérieures de 40% en moyenne, à celles du Petit Léjon (zone 7) qui constitue la deuxième zone de pré-recrutement. Pour ces deux secteurs, la taille des échantillons est suffisante pour contenir à chaque fois au moins une fraction d'agrégat; les variances des estimations de densités sont proches des valeurs moyennes (D estim/ m^2 avant hiver à Caffa: $\bar{X} = 4,47$ individus/ 10 m^2 , $\sigma^2 = 4,28$ - Petit Léjon: $\bar{X} = 3,12$ individus/ 10 m^2 , $\sigma^2 = 3,46$).

Le fond de la baie (zone 1) et les secteurs du large (zones 3 et 8) se caractérisent par une quasi-absence de juvéniles, à l'échelle de l'échantillonnage adoptée. Pour les trois autres secteurs individualisés, soit le centre (zone 2), le Nord-Ouest (zone 5) et l'Est (zone 6) de la baie, les juvéniles présentent une répartition très surdispersée: le nombre d'individus récoltés est très variable d'un échantillon à l'autre et les variances des estimations de densités sont très fortes. La taille des échantillons est insuffisante pour estimer correctement la dispersion spatiale des juvéniles dans ces zones. D'autre part, les densités observées en mars 1986, pour les zones 5 et 6, sont sous-estimées, les conditions météorologiques rencontrées lors de l'échantillonnage de ces zones ayant été mauvaises (forte houle d'Ouest).

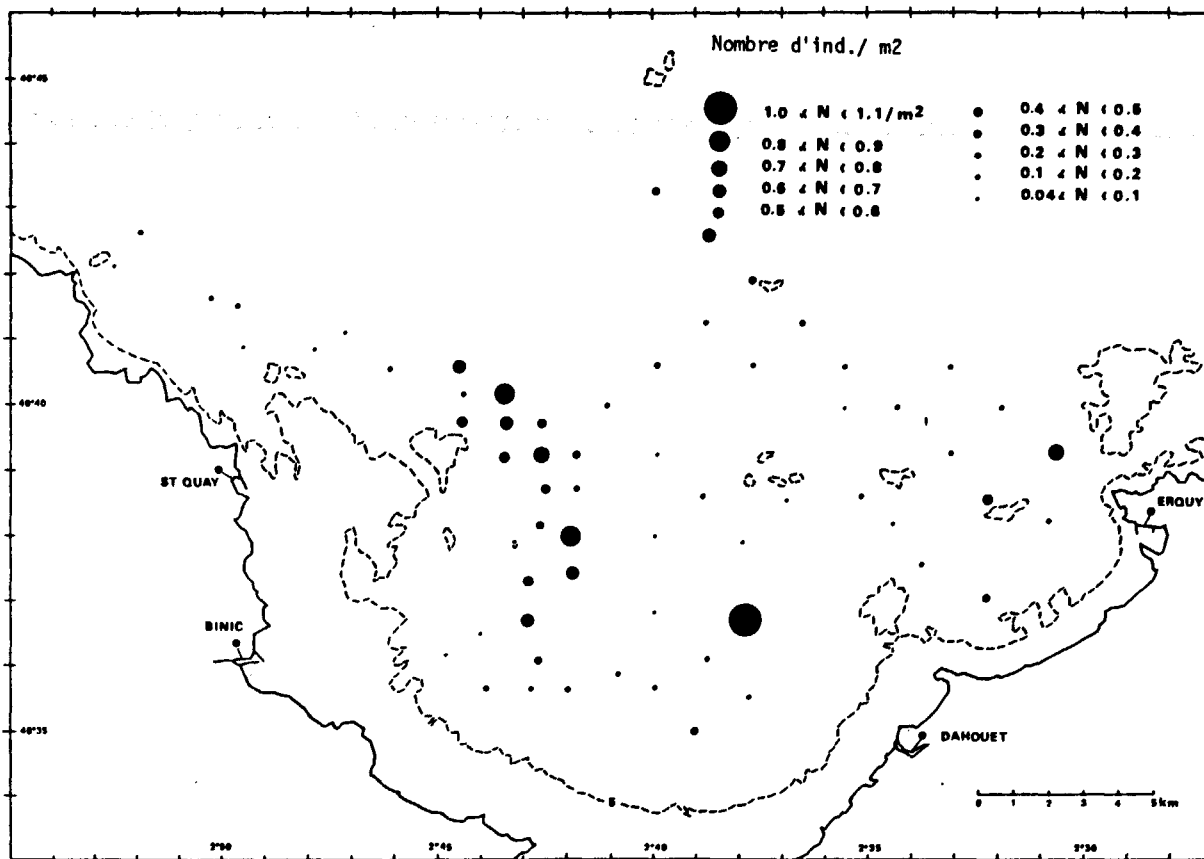


Figure 3
 Baie de Saint-Brieuc : estimation du pré-recrutement (densités cumulées) à la fin de l'automne.
 Saint-Brieuc Bay : estimation of pre-recruitment (cumulated densities) at the end of autumn.

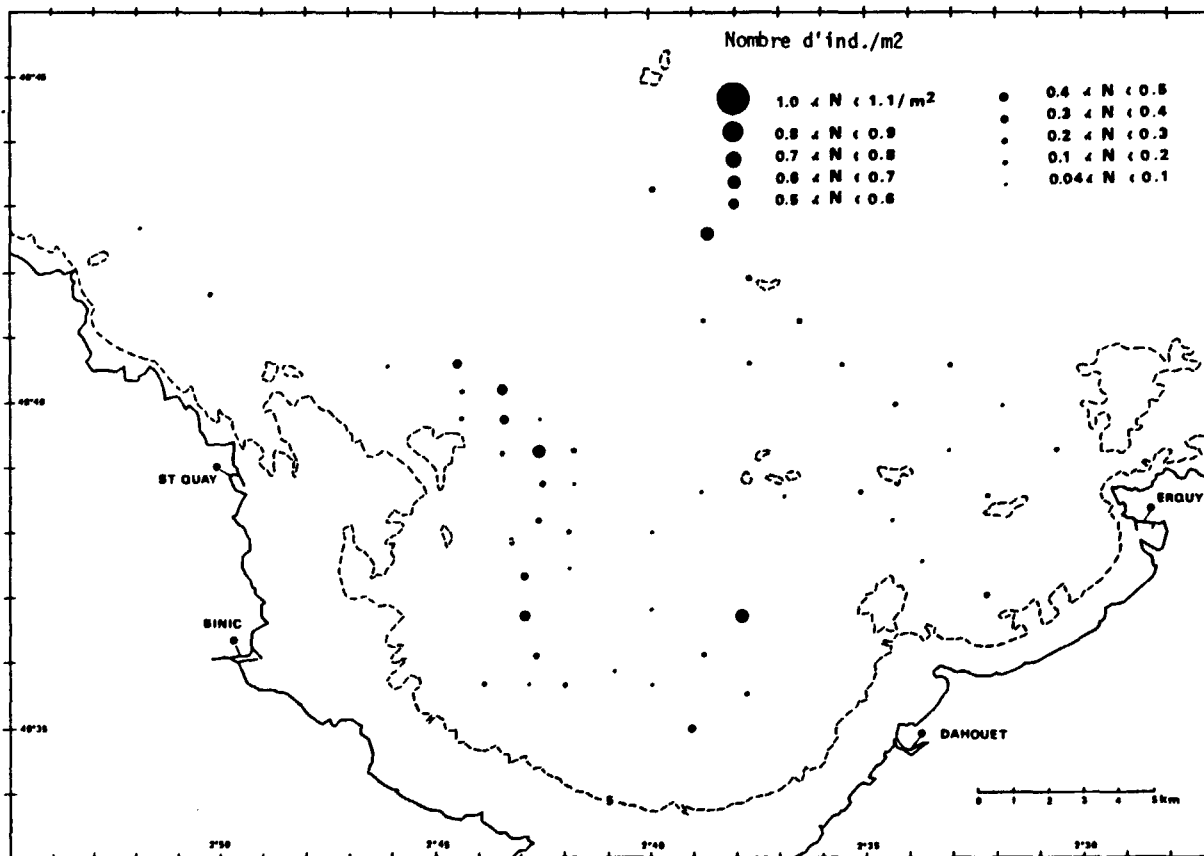


Figure 4
 Baie de Saint-Brieuc : cartographie des densités de C11 de *Pecten maximus* en mars 1986.
 Saint-Brieuc Bay : densities of Class 1 *Pecten maximus* by March 1986.

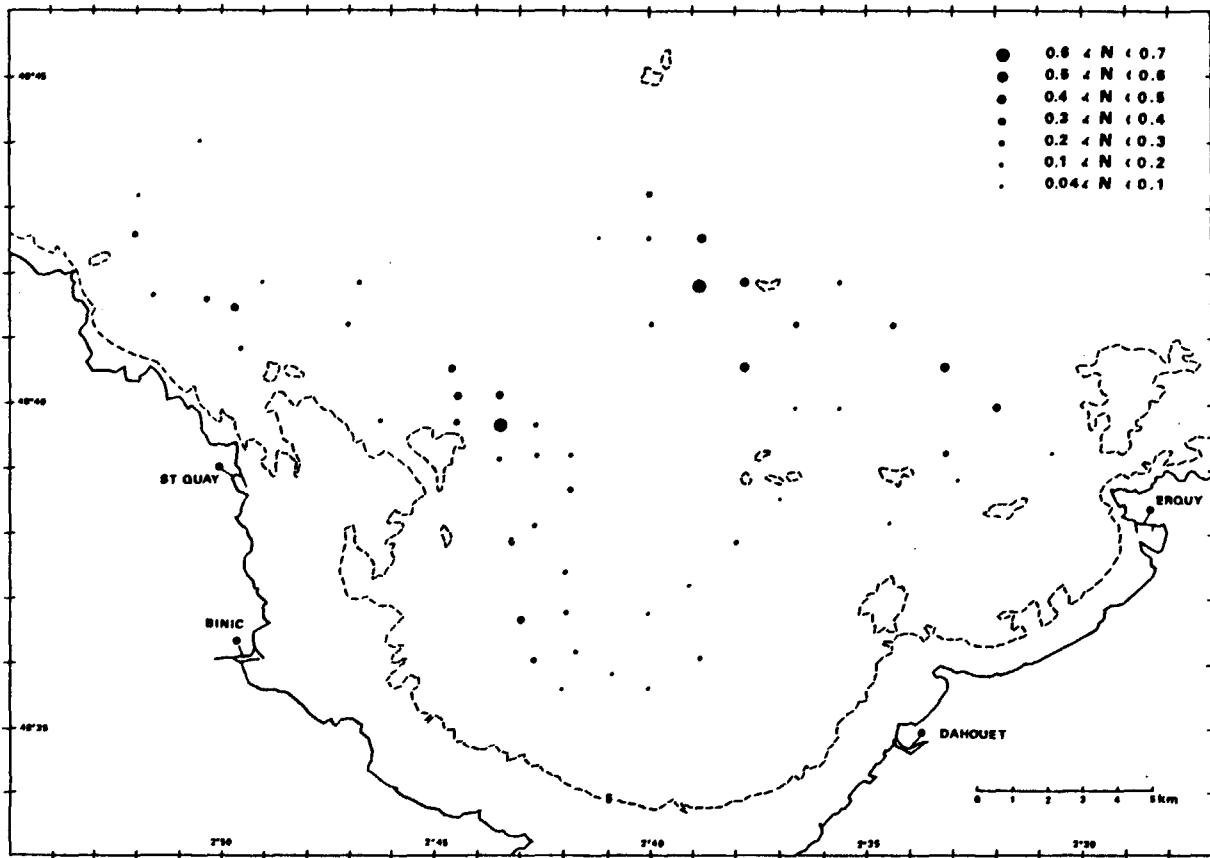


Figure 5
 Baie de Saint-Brieuc : cartographie des densités de C1 de *Pecten maximus* en novembre 1986.
 Saint-Brieuc Bay: densities of Class 1 *Pecten maximus* by November 1986.

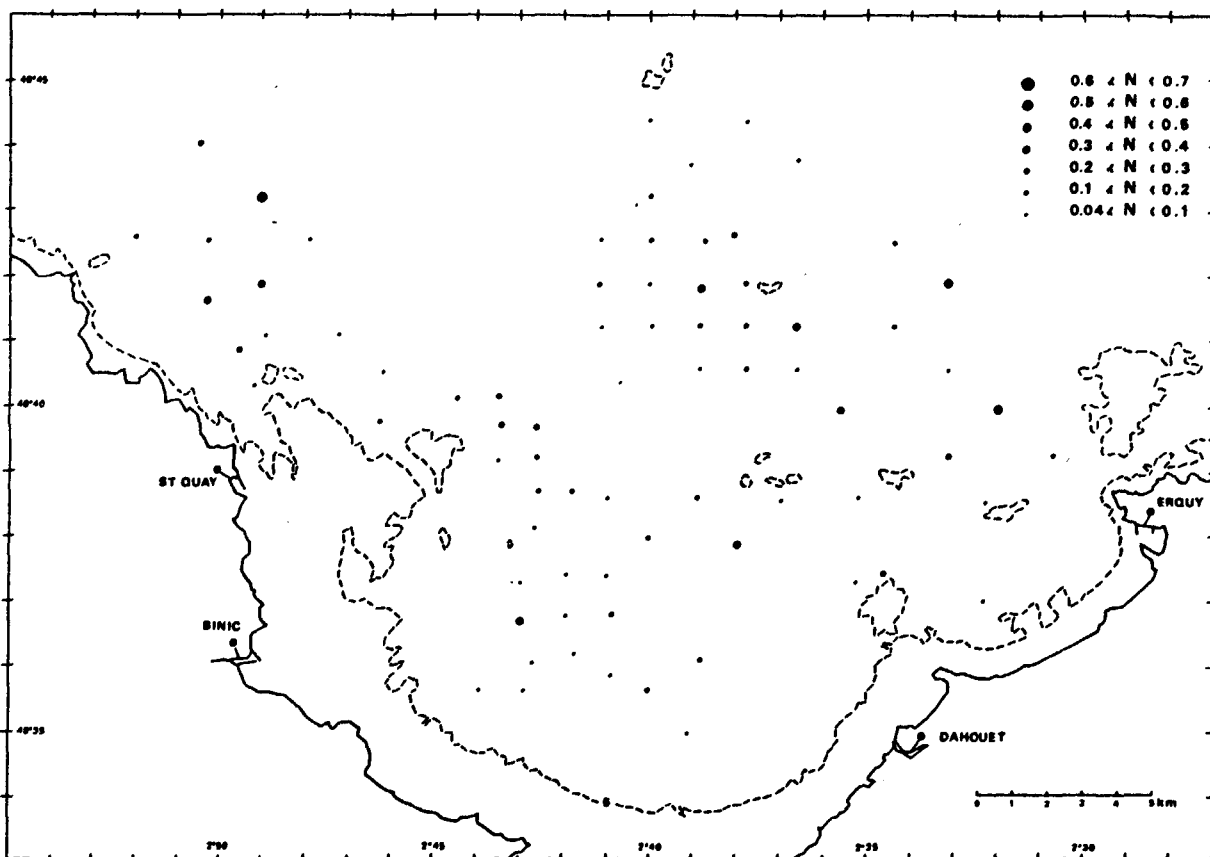


Figure 6
 Baie de Saint-Brieuc : cartographie des densités de C2 de *Pecten maximus* en mars 1987.
 Saint-Brieuc Bay: densities of Class 2 *Pecten maximus* by March 1987.

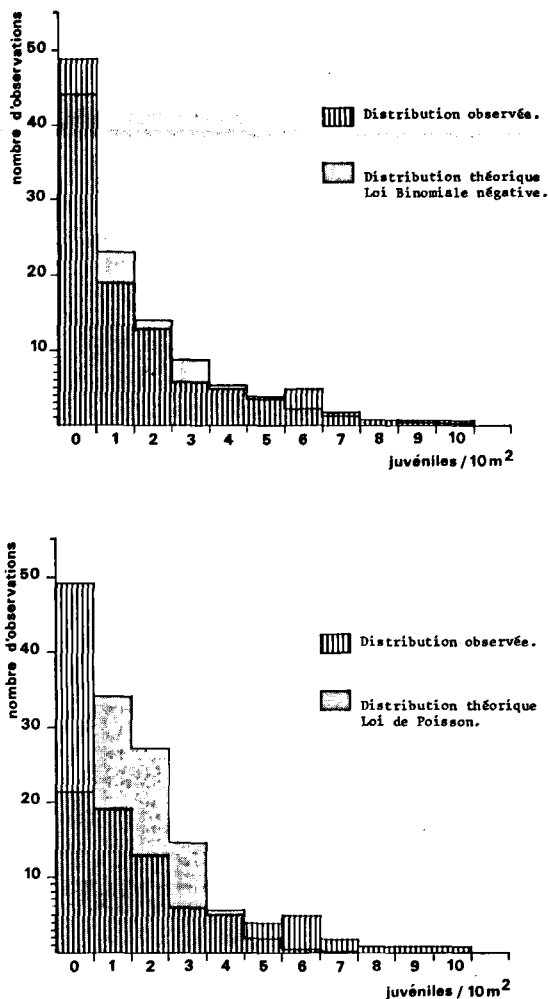


Figure 7

Distributions observée et théoriques des juvéniles de *Pecten maximus* en baie de Saint-Brieuc. a) loi de Poisson superposée; b) loi binomiale négative superposée.

Observed and theoretical distributions of *Pecten maximus* juveniles in Saint-Brieuc Bay: a) observed data with Poisson distribution superimposed; b) observed data with negative binomial model superimposed.

La microrépartition des juvéniles au sein des zones à « fortes densités » (zones 4 et 7) a été étudiée à l'aide de l'indice d'agrégation $I = s^2/\bar{x}$ (variance to mean ratio in Elliott, *op. cit.*, appliqué à de petits échantillons: $n < 31$), testé comme un Chi 2 ($\chi^2 = (n-1) \cdot I$) par rapport à une distribution selon une loi de Poisson. Pour les trois tests effectués (tab. 2), le Chi 2 calculé se trouve entre les limites supérieures et inférieures (seuils de significativité 5%) de la figure 8 d'Elliott (*op. cit.*): on ne peut rejeter l'hypothèse d'une distribution selon une loi de Poisson au niveau de probabilité de 95%.

A l'échelle d'échantillonnage adoptée (taille moyenne d'un échantillon = 13 m² en novembre 1985, 18 à 20 m² en mars 1987), les juvéniles semblent distribués au hasard au sein des zones à fortes densités. Dans le cadre d'une étude ultérieure, il serait intéressant de tester différentes tailles d'échantillon afin de confirmer ou d'infirmer cette répartition au hasard des pré-recrues, au sein des strates. Cela permettrait également de définir la taille des agrégats.

La profondeur moyenne des sites de fixation est comprise entre 10 et 20 m selon les secteurs. Cette répartition bathymétrique coïncide avec les observa-

tions de Minchin (1976) sur les côtes d'Irlande, alors que des profondeurs supérieures ont été notées par Eggleston (1962) autour de l'île de Man (-47 m) et Dare (*op. cit.*) pour la côte de Cornouaille (post-larves fixées jusqu'à -75 m). Larsen et Lee (*op. cit.*) ont trouvé, quant à eux, du naissain de *Placopecten magellanicus* hivernant sur des fonds de -60 à -230 m (côte Nord-Est des États-Unis, Georges Bank).

Facteurs responsables de l'hétérogénéité spatiale de la distribution des juvéniles

La distribution du stock de géniteurs, l'hydrodynamisme subi par les larves, la nature sédimentaire des fonds et le mode abrité ou exposé des sites de fixation sont quatre des facteurs mis en évidence, par ordre d'intervention, lors du cycle reproducteur.

La distribution du stock de géniteurs influe sur la répartition des pré-recrues, dans la mesure où la circulation résiduelle (marée + vent) ne permet pas le transit des larves sur l'ensemble de la baie. Il s'avère d'autre part que la délimitation des zones les plus riches en pré-recrutement fin 1985 (fig. 3) coïncide avec celle des maxima de production obtenus par les pêcheurs sur le stock d'adultes pendant la campagne 1985-1986 (Dao, comm. pers.). Ce résultat ne confirme pas, pour le gisement de Saint-Brieuc, la théorie de Baird et Gibson (1956) et les observations faites par Dare (*op. cit.*) sur la côte sud de l'Angleterre, et par Wilson (1987) sur la côte ouest de l'Irlande, selon lesquelles les juvéniles se déplaceraient à partir de « nurseries » vers les zones de répartition des adultes.

Le rôle prépondérant de l'hydrodynamisme est souligné par le fait qu'en 1985 le transport des larves dans la masse d'eau conduit à une zone d'accumulation en fond de baie (centrée sur Dahouet le 22 juillet: Boucher, 1987), sur des fonds dépourvus de géniteurs. Un modèle numérique de marée barotrope traitant les bancs découvrants a permis de calculer les déplace-

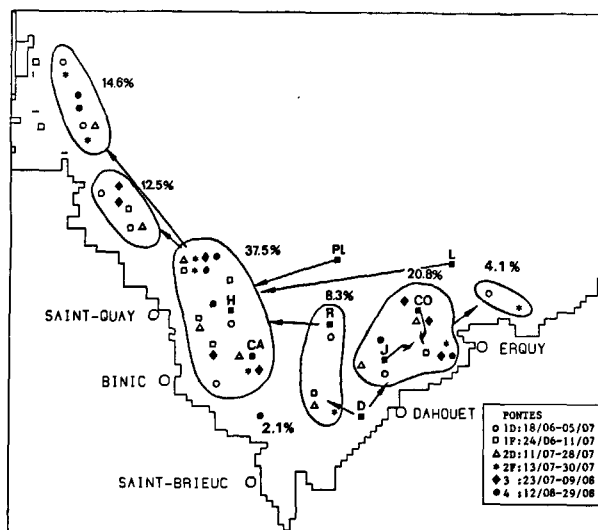


Figure 8

Zones théoriques de fixation, calculées pour une durée de vie larvaire de 18 jours en 1985.

Theoretical zones of settlement calculated for the eighteen-day duration of larval life in 1985.

ments résiduels des larves induits par la marée. L'intégration d'un terme de tension de vent conduit à estimer les mouvements larvaires dus au forcing météorologique. Une durée moyenne de la phase larvaire égale à 18 jours a été retenue. Les principales conclusions concernant l'étude hydrodynamique sont exposées ci-après :

La circulation résiduelle lagrangienne de marée dans la baie de Saint-Brieuc est dirigée, globalement, de l'Est vers l'Ouest, en suivant la ligne de côtes. Des simulations de déplacements à long terme (≈ 18 jours) de larves considérées comme passives dans la masse d'eau, sous l'action de la seule marée (répétition d'une vive-eau moyenne), montrent, pour tout point de lâcher concernant les zones de pontes privilégiées, un enrichissement de la partie ouest de la baie, aux dépens de la partie est.

Une approche des déplacements résiduels des larves est obtenue figure 8 en intégrant les circulations de marée pour les vrais coefficients (références = 45, 70, 95) et celles induites par le vent (simulations types et données météorologiques), pour chaque période larvaire. Les résultats indiquent que les larves concentrées devant Dahouet le 22 juillet se déplacent légèrement vers le Nord-Nord-Ouest au bout de 18 jours. Ce déplacement estimé coïncide parfaitement avec nos propres observations, la densité maximale de juvéniles avant l'hiver étant relevée station 17. Les post-larves de *Pecten maximus* se sont donc fixées sur les fonds compatibles les plus proches de la zone de piégeage des larves.

L'étude des trajectoires simulées montre également que le déplacement des larves varie suivant le point de départ supposé : pour les différentes cohortes larvaires qui se sont succédées pendant l'été 1985, un point de départ au Petit Léjon se traduit par une arrivée dans le secteur des Hors au bout de 18 jours (déplacement vers le Sud-Ouest), alors qu'une ponte dans la zone Caffa-Les Hors reste localisée dans le même secteur (déplacement faible orienté vers le Nord-Ouest). L'hydrodynamisme intégrant marée et vent semble donc contribuer à un enrichissement de la partie ouest de la baie en 1985, ce qui est effectivement observé lors de l'échantillonnage du pré-recrutement.

Lors du passage à la vie benthique, la nature sédimentaire des fonds va constituer le troisième facteur conditionnant la distribution spatiale des pré-recrues. Eggleston (*op. cit.*), Minchin (1984), Dare (*op. cit.*) ont observé des fixations de post-larves de *Pecten maximus* (0,8 à 7 mm de hauteur) sur des hydroids coloniaux et des formes dressées de bryozoaires, de même que Larsen et Lee (*op. cit.*) pour *Placopecten magellanicus*. Elmhirst (1945), Mason (1958), Mason et Drinkwater (1978), Minchin (1981-1984, *op. cit.*), Dare (*op. cit.*) notent des fixations de naissain (0,7 à 15 mm) sur des

algues en zone rocheuse infralittorale. Les post-larves peuvent également mener une vie libre dès 4 mm (Minchin, 1984, *op. cit.*) ou se fixer temporairement sur des graviers (Minchin, Dare, *op. cit.*). En baie de Saint-Brieuc, les juvéniles (8 à 33 mm de hauteur) de *Pecten maximus* sont distribués sur des fonds grossiers, hétérogènes, présentant de nombreux supports favorables aux fixations : coquilles vides d'anomies, pectinidés, palourdes, maërl, graviers... alors que les fonds de sable des zones 1 et 3 ne permettent pas l'installation des post-larves. A cet égard, les densités maximales de pré-recrutement sont enregistrées sur les fonds les plus propices à l'installation des post-larves, c'est-à-dire ceux présentant la plus grande diversité et le plus grand nombre de supports de grandes tailles (zone 4). La répartition des juvéniles est étroitement liée à celle des bancs de maërl (*Lithothamnium corallioïdes* en centre baie et Sud Caffa, *L. calcareum* au nord-ouest de la baie), ce qui confirme les observations de Minchin (1976, *op. cit.*) sur les côtes d'Irlande. Le type de récolte utilisé (dragage + tri mécanique) n'a pas permis d'observer de juvéniles fixés sur des supports.

Le dernier facteur mis en évidence se rapporte au décalage bathymétrique observé dans la distribution des juvéniles, entre l'ouest et l'est de la baie. Les post-larves de la zone Caffa-Les Hors se fixent ou se maintiennent sur des fonds dont la profondeur moyenne (10-11 m) est inférieure à celle des sites de fixation localisés à l'est de la baie (15 à 20 m). Cette dernière étant soumise essentiellement à des houles de secteur Nord-Ouest, il est probable que ce soit l'action de la houle sur les petits fonds exposés du secteur Est, qui empêche le maintien des post-larves, ce qui n'est pas le cas dans le secteur Ouest protégé. Le caractère prépondérant de l'hydrodynamisme sur la nature sédimentaire est souligné par le fait que les post-larves, qui se fixent en fond de baie lorsque les fonds s'y prêtent (stations 17, 21 et 27), n'y sont plus échantillonnées l'été suivant.

L'interaction des facteurs biotiques et abiotiques est donc déterminante pour expliquer la répartition des post-larves sur le fond. La combinaison de ces facteurs peut conduire à la perte d'une partie des cohortes larvaires lorsque l'action de la marée et du vent se traduit par un transport des larves sur des zones défavorables à la fixation ou au maintien des post-larves (cas des larves concentrées devant Dahouet en 1985).

Devenir des juvéniles issus des pontes de l'été 1985

Identification des pontes ayant donné le pré-recrutement

Le suivi temporel de l'indice gonado-somatique des géniteurs et le captage expérimental de naissain effectué

Tableau 2

Comparaison de la microrépartition des juvéniles à une distribution de Poisson (test du Chi 2 appliqué à de petits échantillons : $n < 31$).
Chi square analysis (variance to mean ratio) of juveniles microdistribution, for agreement with a Poisson series; small samples ($n < 31$).

Date/zone	D moy/10 m ²	s ²	χ^2 calculé	Nombre degrés de liberté	χ^2 théorique Q=0,975	χ^2 théorique Q=0,025
Novembre 1985/zone 4	4,55	4,16	17,35	19	8,91	32,85
Mars 1987/zone 4	1,05	1,05	20,00	20	9,59	34,17
Mars 1987/zone 7	1,69	1,06	7,55	12	4,40	23,33

entre mi-juillet et mi-septembre dans la zone de Caffa (station de captage indiquée figure 2) nous permettent de définir les caractéristiques de la reproduction en 1985.

Les collecteurs utilisés pour le captage sont inspirés du principe japonais et du type décrit par Muller-Feuga et Querellou (1973), Querellou (1975), Buestel *et al.* (1977).

Quatre pontes (Paulet, Halary, comm. pers.) ayant donné lieu à cinq fixations dans les collecteurs sont observées en 1985. La fiabilité des résultats provenant du captage de naissain, tant dans le déterminisme des pontes responsables du pré-recrutement que dans l'estimation quantitative à prévoir de ce dernier, est précisée en comparant ces données avec celles obtenues par échantillonnage du pré-recrutement avec l'A.QUA.R.E.V.E.

L'analyse modale des histogrammes de hauteurs observées dans les collecteurs le 11 septembre à Caffa (date d'immersion: 14 juillet) est représentée figure 9. La figure 10 concerne les hauteurs à l'anneau 1 des individus prélevés sur le fond dans la zone Caffa-Les Hors. La technique d'analyse pour déterminer le nombre de composantes gaussiennes est celle utilisée par Menesguen (1980).

Les deux analyses apparaissent similaires: les cinq fixations observées dans les collecteurs pendant l'été 1985 correspondent à autant de « micro-cohortes » échantillonnées sur le fond, dans la zone considérée. Le même pic d'abondance est observé pour les deux cas: l'essentiel du pré-recrutement 1985 est donc assuré par les individus issus de la ponte du 9-11 juillet, pour laquelle deux fixations sont enregistrées. Ce sont les composantes 3 et 4 des analyses modales, qui à elles seules correspondent à 84% des effectifs de la figure 10 et 60% de ceux de la figure 9.

Mais le caractère hasardeux des fixations dans les collecteurs (faibles surfaces de captage, bonnes conditions météorologiques requises...), celui artificiel du « milieu » collecteur (problèmes de colmatage par le fouling lors d'une immersion prolongée, prédation accrue s'exerçant dans un volume « clos »...) introduisent un biais dans les résultats observés.

Les importances relatives des cinq micro-cohortes diffèrent sensiblement d'un type de données à l'autre. En particulier, les deux dernières fixations issues des pontes de fin juillet et d'août, ne participent que pour une faible proportion au pré-recrutement 1985 dans la zone de Caffa (12,5%), alors qu'elles constituent 34% du naissain capté. La survie moindre, constatée chez les individus issus des dernières pontes, s'ajoute aux raisons précitées pour expliquer les différences obser-

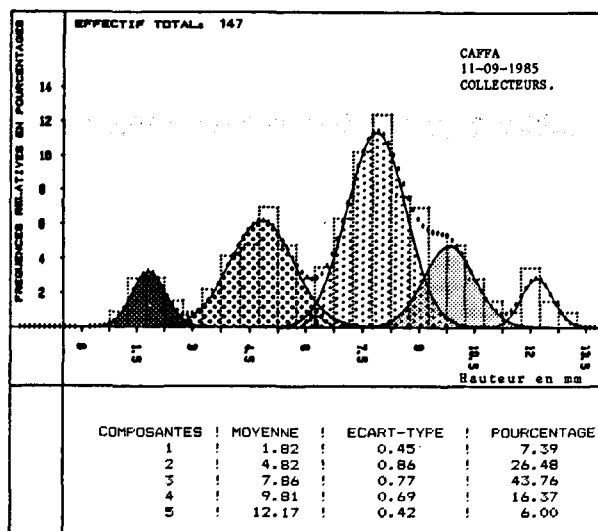


Figure 9
Analyse modale des histogrammes de hauteur (données de captage).
Modal analysis of height histograms (data from collection).

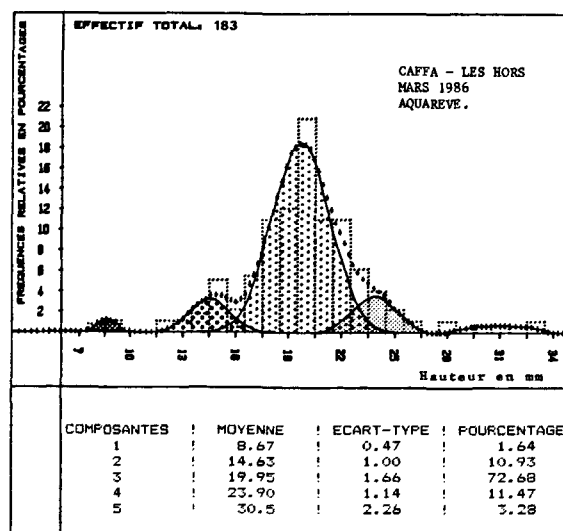


Figure 10
Analyse modale des histogrammes de hauteur (données A.QUA.R.E.V.E.).
Modal analysis of height histograms (data from A.QUA.R.E.V.E.).

vées, puisque la mesure de la hauteur à l'anneau 1 concerne les juvéniles ayant survécu au premier hiver.

Les données provenant du captage de naissain sont donc un bon estimateur des premiers stades de la phase benthique fixée, du cycle reproducteur de *Pecten maximus*. Par contre, le devenir des différentes micro-cohortes captées, est difficilement estimable à partir de ces résultats.

Croissance des juvéniles

Des hétérogénéités spatio-temporelles de croissance au sein d'un même gisement ont été mises en évidence

Tableau 3

Comparaison des distributions de hauteur à l'anneau 1, entre quatre secteurs de la baie de Saint-Brieuc (test du Chi 2).
Chi square test of height distributions at the first year band (four zones compared).

Zones comparées	χ^2 observé	Nombre degrés de liberté	χ^2 théorique au seuil de 1%
Fond de baie/Caffa-Les Hors	29,92	5	15,086
Caffa-Les Hors/Est baie	18,52	5	15,086
Est baie/Petit Léjon	17,73	4	13,277

pour *Pecten maximus* en baie de Seine (Antoine, 1979; Antoine *et al.*, 1979). La comparaison des hauteurs à l'anneau 2, entre les différents secteurs individualisés, montre que les hauteurs les plus faibles s'observent pour les secteurs les plus profonds (variations spatiales de croissance). Antoine (*op. cit.*) souligne l'existence d'un gradient de profondeur en baie de Seine, où il observe une diminution de K sans augmentation de L_{∞} (paramètres de l'équation de Von Bertalanffy), de la côte vers le large.

De telles observations ont été recherchées sur le gisement de la baie de Saint-Brieuc. L'étude des variations spatiales de la croissance des juvéniles a porté sur la comparaison des fréquences de hauteurs des individus entre quatre secteurs : fond de la baie (zones 1+2), Caffa-Les Hors (zone 4), est de la baie (zone 6) et Petit Léjon (zone 7). Les données insuffisantes sur la partie nord-ouest de la baie n'ont pas permis d'en tirer de conclusions. Le suivi temporel de la croissance des classes 1 a été réalisé lors des échantillonnages de mars, août, novembre 1986 et mars 1987.

Variations spatiales de la croissance des classes 0

Les histogrammes des fréquences de hauteurs à l'anneau 1, pour les quatre zones précitées, sont représentés figure 11. Les cinq micro-cohortes identifiées à Caffa ont été séparées par la même technique d'analyse modale des histogrammes, pour les trois autres secteurs. La comparaison des distributions de hauteurs (les secteurs étant étudiés deux à deux) par un test du Chi 2, montre que les différences observées sont toutes significatives au seuil de 1% (tab. 3).

Le synchronisme des pontes sur l'ensemble de la baie (à un ou deux jours près) ayant été démontré par Paulet (comm. pers.), la croissance des classe 0 en 1985 n'est pas homogène sur toute la baie. Il existe un gradient de hauteur décroissant de la côte vers le large, les individus échantillonnés en fond de baie présentant la plus forte croissance.

Parmi les facteurs responsables de cette hétérogénéité spatiale de la croissance des post-larves et juvéniles, trois gradients : bathymétrique, trophique et thermique, sont mis en évidence.

— Gradient bathymétrique : la profondeur moyenne des stations en fond de baie (croissance maximale) et dans la zone de Caffa est de 11 m. Les stations de la partie est de la baie et celles du Petit Léjon (croissance minimale) ont respectivement une profondeur moyenne de 15 et de 19 m. On retrouve donc en baie de Saint-Brieuc, mais à une échelle plus fine, le gradient de profondeur montré par Antoine (*op. cit.*) en baie de Seine : les hauteurs les plus faibles s'observent dans les secteurs les plus profonds.

— Gradient trophique : les données de Sournia (comm. pers.) sur les variations spatio-temporelles du phytoplancton en baie de Saint-Brieuc montrent que le même gradient décroissant « côte-large » est observé pendant l'été 1985, pour tous les paramètres mesurés (concentrations en nitrates, en pigments photosynthétiques), à l'exception des teneurs en silicates (rapport inverse). L'échantillonnage trop lâche réalisé en 1985 n'a pas

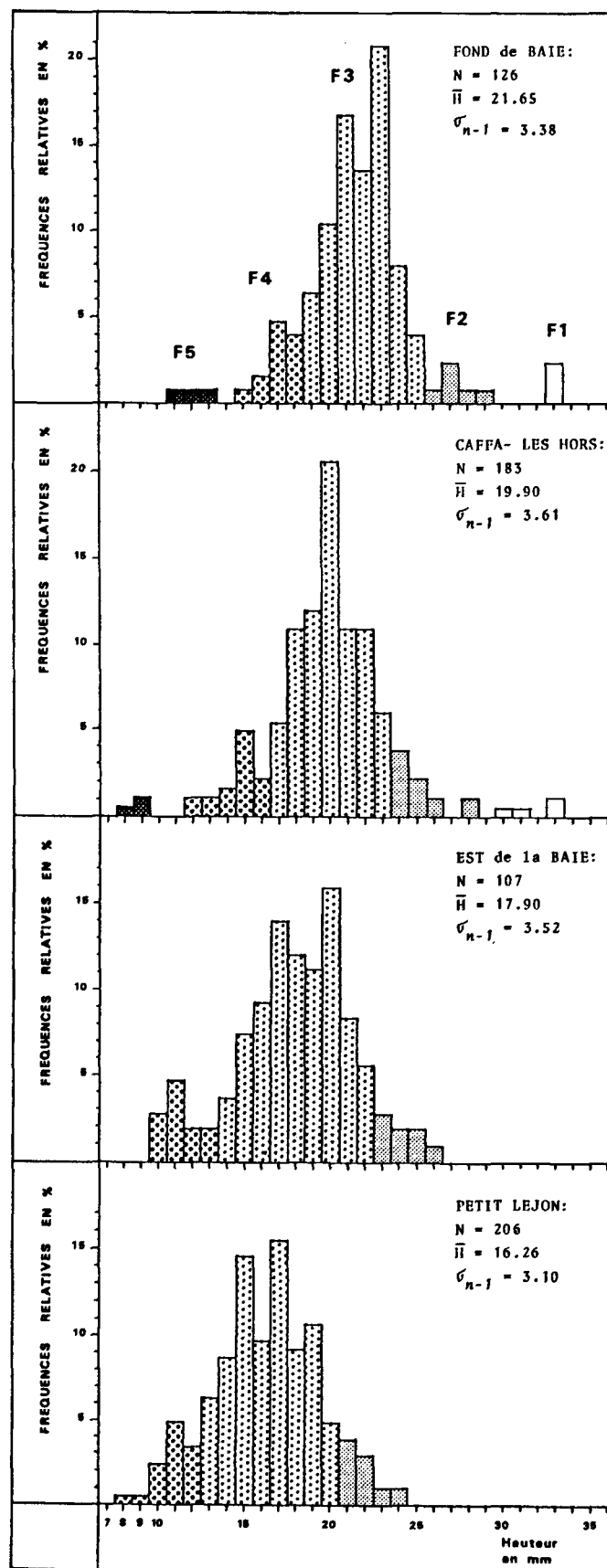


Figure 11
Histogrammes des fréquences de hauteur à l'anneau 1 des juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes de l'été 1985 (F1-F5 : n° de fixation).

Height frequency histograms at the first year band for *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning (F1-F5: settlement number).

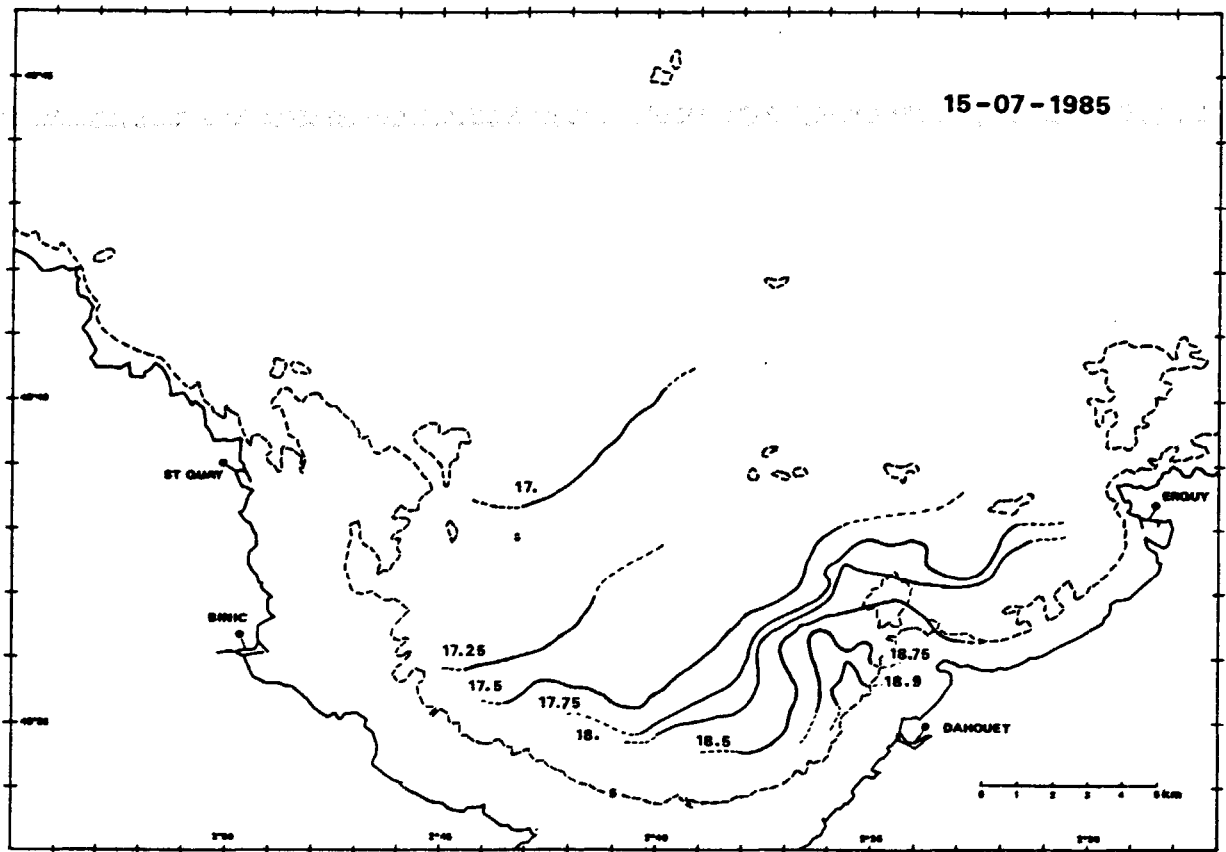


Figure 12
 Repositionnement des isothermes de subsurface (profondeur = -6 m), à pleine mer le 15/07/85.
 Position of the subsurface isotherms (depth = -6 m), calculated for high tide 15/07/85.

permis de resituer ces observations dans le contexte du cycle annuel du phytoplancton. Il semble néanmoins que le pic printanier ait été précoce en baie de Saint-Brieuc (en mars probablement) et que la reproduction de *Pecten maximus* se soit déroulée dans un milieu déjà appauvri.

– Gradient thermique : si les variations estivales de température des eaux de la baie sont très limitées entre le fond et la surface (écart maximum de 0,5°C d’après

Arzel (1984), mais > 1,5°C localement, devant Dahouet en 1985), il existe un gradient horizontal de température, côte-large, en été, atteignant 2 à 3°C certaines années (Arzel, *op. cit.*). En 1985, l’écart enregistré entre les eaux du large et le fond de la baie, est de 1,9°C (fig. 12) le 15 juillet. Les post-larves fixées en fond de baie ont donc bénéficié d’eaux plus chaudes pour leur croissance.

Suivi spatio-temporel de la croissance des classes 1

La croissance des juvéniles entre la fin du premier hiver et la fin du second est représentée figure 13 (données

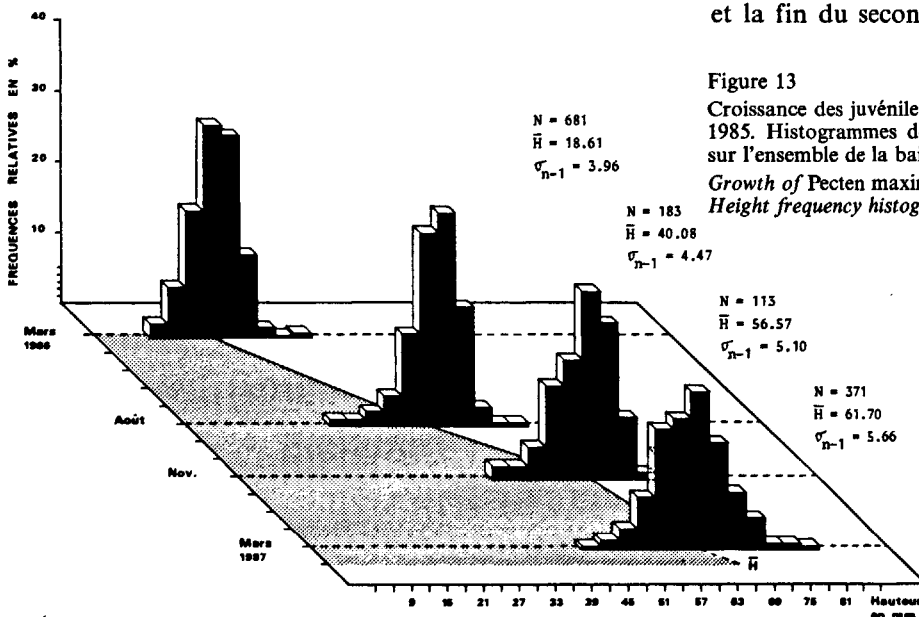


Figure 13
 Croissance des juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes de l’été 1985. Histogrammes des fréquences de hauteur (données cumulées sur l’ensemble de la baie).
 Growth of *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning. Height frequency histograms (cumulated data for the whole Bay).

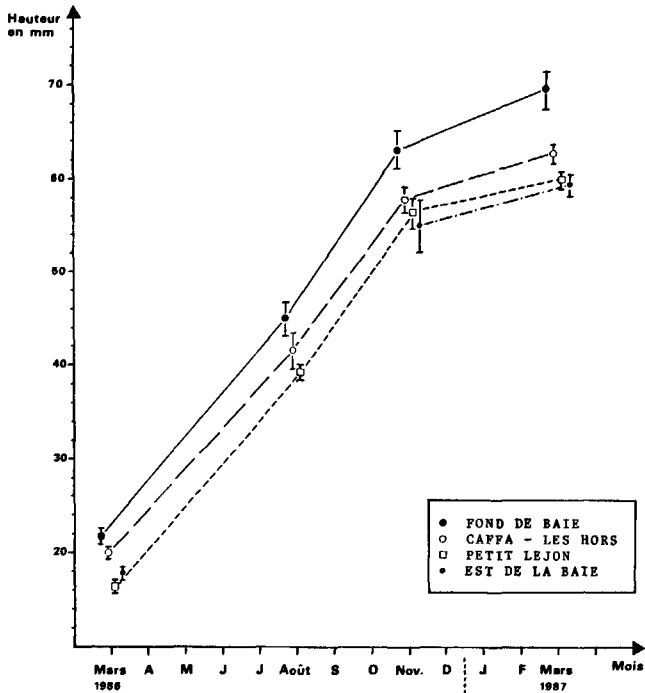


Figure 14
Croissances moyennes par secteurs des juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes de l'été 1985 (intervalles de confiance à 95%).
Mean growth for each zone of *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning (95% confidence limits).

cumulées sur l'ensemble de la baie) et figure 14 (croissances moyennes par secteurs).

Les variations spatio-temporelles observées ont été testées à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs contrôlés : zone d'échantillonnage et période (analysis of unbalanced designs, contenue dans Statgraphics). Les deux facteurs pris séparément ont une influence très significative sur la croissance des juvéniles, au risque d'erreur de 1% (proba. ($> F$) $< 0,0001$ dans les deux cas). L'interaction des deux facteurs est également significative pour le même risque (proba. ($> F$) = 0,0061). L'hétérogénéité spatiale de la croissance des juvéniles est donc conservée (gradient décroissant côte-large) entre le premier et le deuxième hiver, mais l'augmentation moyenne de hauteur entre mars 1986 et mars 1987 semble peu différente pour trois des secteurs étudiés ($\Delta\bar{H}$ variant de 41,6 mm à 43,9 mm pour les zones Caffa-Les Hors, Est baie et Petit Léjon, alors qu'il atteint 48,3 mm en fond de baie). Globalement, les différences existant entre les accroissements moyens de hauteur des quatre secteurs, testées par une analyse de variance à un facteur contrôlé (zone), sont significatives au seuil de 1% (proba. ($> F$) $< 0,0001$). Par contre, la comparaison des zones deux à deux, à l'aide d'un test de l'écart-réduit ε , montre une différence non significative au risque d'erreur de 5% pour les zones Caffa-Les Hors et Est baie ($\varepsilon = 0,98 < 1,96$).

Les variations spatio-temporelles de la croissance du pré-recrutement 1985 concernent donc essentiellement les premiers stades de la vie benthique des post-larves et juvéniles, entre la fixation estivale et le premier hiver. Nos observations concordent avec celles de Magnesen (1987) sur la croissance du pré-recrutement de *Pecten*

maximus le long des côtes de Norvège : ce dernier indique en effet que la croissance des post-larves est maximale dans les eaux peu profondes et abritées, alors que celle des juvéniles est moins dépendante de la profondeur et du lieu.

Mortalité affectant les juvéniles

La mortalité affectant le pré-recrutement 1985 a été quantifiée entre la fin de l'automne 1985 et mars 1987. L'impact des deux premiers hivers est donc mesuré, en se rappelant que c'est une valeur minimale de la mortalité après le premier hiver qui est obtenue.

Il apparaît globalement (fig. 3 à 6) qu'après les deux premiers hivers, l'essentiel des juvéniles fixés en fond de baie a disparu et que la survie des pré-recrues est meilleure dans la partie est de la baie (Petit Léjon notamment) que dans le secteur Caffa-Les Hors.

La figure 15 et le tableau 4 nous montrent que la mortalité est essentiellement hivernale, qu'elle varie selon les secteurs considérés de la baie et qu'elle affecte autant les jeunes classes 2 que les jeunes classes 1 en valeurs relatives.

Lors du premier hiver, la mortalité moyenne observée est de 47% sur l'ensemble de la baie; la zone du Petit Léjon est la plus favorable à la survie des juvéniles puisque la mortalité observée y est de 8%, alors qu'elle atteint 48% sur la zone de Caffa-Les Hors.

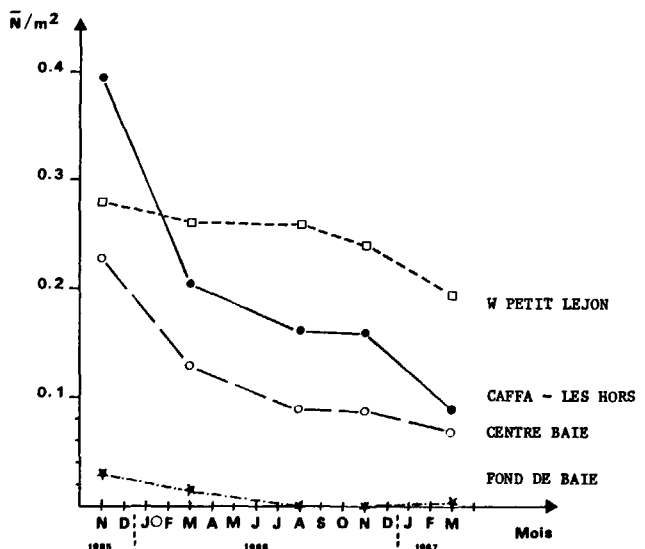


Figure 15
Variations temporelles des densités moyennes par secteurs (juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes de l'été 1985).
Variations of mean densities with time, for each zone (*Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning).

Tableau 4

Mortalité affectant les juvéniles de *Pecten maximus* issus des pontes de 1985 (en pourcentages).

Mortality of *Pecten maximus* juveniles from the 1985 summer spawning (percentages).

	Mars 1986	Août 1986	Novembre 1986	Mars 1987
Caffa-Les Hors				
Mortalité relative observée	48,3	21,2	0,6	42,8
Mortalité absolue	48,3	59,3	59,3	76,8
Petit Léjon				
Mortalité relative observée	7,9	0	7,3	19,5
Mortalité absolue	7,9	7,9	13,3	30,2

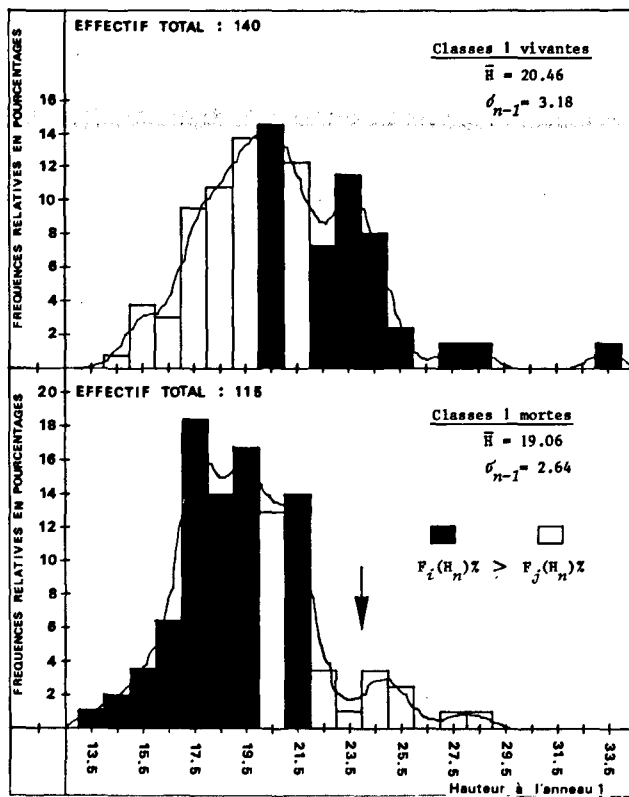


Figure 16

Histogrammes des fréquences de hauteur à l'anneau 1. Impact de la mortalité hivernale sur les différentes cohortes de *Pecten maximus* en mars 1986.

First year band height frequency histograms. The effect of winter mortalities on the different cohorts of *Pecten maximus* by March 1986.

La comparaison des histogrammes de hauteur à l'anneau 1 en mars 1986, des individus vivants et morts (fig. 16), montre que ce sont les individus de plus petite taille qui sont le plus touchés par la mortalité survenant lors du premier hiver. La survie des cohortes émises en fin de période de reproduction apparaît donc plus faible, ce qui peut s'expliquer par une fragilité plus grande de la coquille, et des réserves énergétiques insuffisantes pour affronter un hiver rigoureux. Ceci permet d'expliquer les différences relevées précédemment entre les données de captage (pré-hivernales) et celles provenant de l'échantillonnage sur le fond (post-hivernales), différences portant sur les fréquences relatives des deux derniers modes.

Le taux de mortalité affectant les juvéniles lors du premier hiver est à rapprocher de celui observé pour les adultes de *Pecten maximus* par Dao (comm. pers.), soit 30% de mortalité pendant l'hiver 1985-1986 (valeur moyenne sur l'ensemble de la baie). L'explication de cette valeur exceptionnellement élevée est à rechercher dans la rigueur de l'hiver.

A la fin du second hiver, la mortalité totale observée des juvéniles est de 30% au Petit Léjon, 53% en centre baie, 77% dans la zone Caffa-Les Hors, et 80% en fond de baie.

La part des différents facteurs intervenant dans cette mortalité différentielle : hydrodynamisme, température, nature sédimentaire des fonds et travail des dragues, facteurs biologiques (compétition, prédation), reste à déterminer. Les facteurs de mortalité à considérer vont varier selon les secteurs de la baie :

- Pour les zones Caffa-Les Hors, Petit Léjon, et à un degré moindre le centre de la baie, l'effort de pêche sur le stock d'adultes est à prendre en compte (pêche de novembre à fin mars). Ce dernier est plus important dans le secteur Ouest; d'autre part, il est probable que la « casse » occasionnée par le travail des dragues sur les fonds grossiers de Caffa-Les Hors, soit supérieure à celle s'exerçant sur les sédiments plus fins du Petit Léjon. Ce facteur peut donc expliquer en partie les différences de mortalité observées entre les deux zones de pré-recrutement.

- L'effort de pêche n'intervient plus en fond de baie (zone non exploitée), mais l'action de la houle dans la couche limite de fond, déjà évoquée pour les zones de faible profondeur exposées, peut être une cause de mortalité différentielle.

Il existe d'autre part un gradient horizontal de température, croissant de la côte vers le large, en hiver (de l'ordre de 1°C sur 10 km d'après Vercelli, 1985).

Les juvéniles localisés en fond de baie subissent donc des refroidissements des eaux plus marqués.

CONCLUSION

L'application de la technique A.QUA.R.E.V.E. à l'échantillonnage des juvéniles d'une espèce dont la baie de Saint-Brieuc constitue le premier gisement exploité des côtes françaises, a permis de localiser les zones de fixation des post-larves et juvéniles issus des pontes de l'été 1985. La technique s'avère fiable, l'efficacité de l'engin contrôlé par suivi des traits de plongée étant supérieure à 80% lorsque les conditions météorologiques sont favorables.

Les principaux facteurs responsables de l'hétérogénéité spatiale de la distribution des juvéniles de *Pecten maximus* sont la distribution du stock des géniteurs, l'hydrodynamisme, la localisation temporelle des pontes et des phases larvaires et la nature sédimentaire des fonds.

A cet égard, le facteur hydrodynamique résultant de l'action combinée du vent et de la marée, est déterminant pour expliquer les fluctuations du pré-recrutement, lorsqu'il conduit à un piégeage des larves sur des zones défavorables à la fixation ou au maintien des pré-recrues.

Dans le cadre d'un programme de gestion du stock exploité, les fortes mortalités observées lors des deux premiers hivers, impliquent de suivre le devenir des pré-recrues jusqu'à leur arrivée dans la pêcherie (acquisition de la taille commerciale). L'étude des premières phases du cycle ontogénique de l'espèce : qualité de la reproduction, suivi des cohortes larvaires et des fixations des post-larves, ne suffit pas pour appréhender les résultats d'une campagne de pêche deux ans après.

La technique d'échantillonnage n'est pas applicable aux premiers stades de la vie benthique (post-larves) : les très faibles densités observées pour les juvéniles obligent à échantillonner des surfaces importantes pour obtenir des valeurs représentatives de la dispersion spatiale des individus. Or, la drague épibenthique, bien qu'écrémant

la surface des fonds, procure des volumes de refus tels que le tri ne peut être envisagé sur un tamis inférieur à 10 mm (diamètre des perforations). Il en résulte la limitation de la taille minimale échantillonnable des

coquilles à 10 mm (stade juvénile I). Un échantillonnage avec une suceuse et un tri par gravité devrait permettre de diminuer les volumes des prélèvements. La technique reste à développer.

RÉFÉRENCES

- Anonyme, 1970. « Bowers » explores for scallop off Florida's east coast, *Comm. Fish. Rev.*, **32**, 6, 8-9.
- Antoine L., 1979 a. La croissance de la coquille Saint-Jacques *Pecten maximus* (L.) et ses variations en mer Celtique et en Manche, *Thèse 3^e Cycle, Univ. Bretagne Occidentale, Brest*, 105 p.
- Antoine L., Arzel P., Laurec A., Morize E., 1979 b. La croissance de la coquille Saint-Jacques *Pecten maximus* (L.) dans les divers gisements français, *Rapp. PV Réun. Cons. Inter. Explor. Mer*, **175**, 85-90.
- Arzel P., 1984. Étude de l'incidence d'une centrale nucléaire sur une population exploitée: la coquille Saint-Jacques, Contrat E.D.F.-C.N.E.X.O., n° E 1969, rapport 3.
- Baird R. H., Gibson F. A., 1956. Underwater observations on scallop (*Pecten maximus* (L.) beds, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **35**, 555-562.
- Beigbeder Y., 1967. Problèmes géomorphologiques et sédimentologiques dans la partie orientale de la baie de Saint-Brieuc, *Cah. Océanogr.*, **19**, 7, 549-577.
- Boucher J., 1987. Déterminisme du recrutement de la coquille Saint-Jacques. Programme et résultats actuels, P.N.D.R. Informations, mars 1987, n° 5.
- Buestel D., Gohin F., 1985. Estimation d'un stock naturel de coquilles Saint-Jacques par une méthode combinant les dragages et la plongée. Traitement des résultats par une méthode géostatistique, C.I.E.M., C.M. 1985/K, 18.
- Buestel D., Arzel P., Cornillet P., Dao J.C., 1977. La production de juvéniles de coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*), *Actes Colloq. C.N.E.X.O.*, **4**, 307-315.
- Caddy J. F., 1970. A method of surveying scallop population from a submersible, *J. Fish. Res. Board Can.*, **27**, 535-549.
- Caddy J. F., 1971. Efficiency and selectivity of the Canadian offshore scallop dredge, I.C.E.S., C.M. 1971/K, 25.
- Chapman C. J., Mason J., Kinnear J.A.M., 1977. Diving observations of the efficiency of dredges used in the Scottish fishery for the scallop *Pecten maximus* (L.), *Scott. Fish. Res. Rep.*, **10**, 16 p.
- Chardy P., Guennegon Y., Branellec J., 1980. Photographie sous-marine et analyse des peuplements benthiques, *Rapp. Sci. Tech., Publ. CNEOX*, **41**, 32 p.
- Chassé C., Glémarec M., 1976. Principes généraux de la classification des fonds pour la cartographie biosédimentaire, *J. Rech. Océanogr.*, **1**, 3, 1-11.
- Comely C.A., 1972. Larval culture of the scallop *Pecten maximus* (L.), *J. Cons. Inter. Explor. Mer*, **34**, 3, 365-378.
- Cragg S. M., 1980. Swimming behaviour of the larvae of *Pecten maximus* (L.), *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **60**, 551-564.
- Cummins R. Jr., 1971. Calico scallops of the Southeastern United States, 1959-69, Special Scientific Report, Nat. Oceanic and Atmos. Administration (Fisheries), n° 627, 22 p.
- Dare J., 1987. Settlement of scallop *Pecten maximus* (L.) spat on natural substrates off Sout-West England: the hydroid connection, *6th Inter. Pectinid Workshop, Menai-Bridge*.
- Dickie L. M., 1955. Fluctuations in abundance of the giant sea scallop *Placopecten magellanicus* (G.), in the Digby area of the bay of Fundy, *J. Fish. Res. Board Can.*, **12**, 6, 797-856.
- Eggleston D., 1962. Spat of the scallop *Pecten maximus* (L.) from off Port Erin, Isle of Man, *Rep. Mar. Biol. Stn., Port Erin*, **74**, 29-32.
- Elliott J. M., 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates, *Freshwat. Biol. Assoc. Sci. Publ.*, **25**.
- Elmhirst R., 1945. Clam fishing in the firth of Clyde, *Trans. Butesh. Nat. Hist. Soc.*, **13**, 113-116.
- Franklin A., Pickett G. D., Holme N. A., Barrett R. L., 1980. Surveying stocks of scallops (*Pecten maximus*) and queens (*Chlamys opercularis*) with underwater television, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **60**, 181-191.
- Frontier S., 1983. *Stratégies d'échantillonnage en écologie*, Masson éd., Coll. Écologie, **17**, 494 p.
- Holme N. A., Barrett R. L., 1977. A sledge with television and photographic cameras for quantitative investigation of the epifauna on the continental shelf, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **57**, 391-403.
- Hommeril P., 1967. Étude de géologie marine concernant le littoral bas-normand et la zone pré-littorale de l'archipel anglo-normand, *Thèse Doct. État, Univ. Caen*, 1-304.
- Laban A., Pérès J. M., Picard J., 1963. La photographie sous-marine profonde et son explication scientifique, *Bull. Inst. Océanogr.*, **60**, 1-32.
- Langton R. W., Robinson W. E., 1987. Ecology of the sea scallop *Placopecten magellanicus* (G.) in the gulf of Maine, USA, *6th Inter. Pectinid Workshop, Menai-Bridge*.
- Larsen P. F., Lee R. M., 1978. Observations on the abundance, distribution and growth of postlarval sea scallops, *Placopecten magellanicus*, on Georges Bank, *Nautilus*, **92**, 112-116.
- Larsonneur C., 1979. *Carte des sédiments superficiels de la Manche, Ech. 1/500 000*, Éd. B.R.G.M.-C.N.E.X.O.
- Magnesen T., 1987. Growth of *Pecten maximus* in experimental systems, *6th Inter. Pect. Workshop, Menai-Bridge*.
- Mason J., 1958. The breeding of the scallop *Pecten maximus* (L.), in Manx waters, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **37**, 653-671.
- Mason J., Drinkwater J., 1978. The settlement and early growth of the scallop, *Pecten maximus* (L.) and the queen *Chlamys opercularis* (L.), in Scottish waters, *2nd Inter. Pectinid Workshop, Brest*.
- Mason J., Drinkwater J., Howell T. R. W., Fraser D. I., 1983. A comparison of methods of determining the distribution and density of the scallop, *Pecten maximus* (L.), *4th Inter. Pectinid Workshop, Aberdeen*.
- Matern B., 1960. Spatial variation, *Medd. Fr. Stat. Skogforsk. Inst., Suède*, **49**, 1-144.
- Menesguen A., 1980. La macrofaune benthique de la baie de Concarneau. Peuplements, dynamique de populations, prédation exercée par les poissons, *Thèse 3^e Cycle, Univ. Bretagne Occidentale, Brest*, 127 p.
- Merrien A., 1980. Utilisation de la télévision sous-marine pour l'inventaire et l'estimation directe des ressources en coquilles Saint-Jacques; exemple: la baie de Saint-Brieuc, *Publ. C.I.E.M. C.M./1980/B*, 22.
- Minchin D., 1976. Pectinid settlement, *Scallop Workshop, Baltimore, Ireland*, 11-16 May 1976.
- Minchin D., 1981. The scallop, *Pecten maximus* in Mulroy bay, *Fish. Bull., Dublin*, **1**, 21 p.
- Minchin D., 1984. Aspects of the biology of young scallops *Pecten maximus* (L.) about the Irish Coast, *Ph. D. Thesis, Trinity College, Univ. Dublin*.
- Muller-Feuga A., Querellou J., 1973. L'exploitation de la coquille Saint-Jacques au Japon, *Rapp. Sci. Tech., C.N.E.X.O.*, n° 14.
- Pingree R. D., Maddock L., 1977. Tidal residuals in the English Channel, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, **57**, 339-354.
- Querellou J., 1975. Exploitation des coquilles Saint-Jacques *Patinopecten yessoensis* jay, au Japon, *Publ. Association pour le Développement de l'Aquaculture*, 62 p.
- Retière C., 1979. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe normano-breton, *Thèse Doct. État, Univ. Paris VI*.
- Thouzeau G., Hily C., 1986. A.Q.U.A.R.E.V.E. : une technique nouvelle d'échantillonnage quantitatif de la macrofaune épibenthique des fonds meubles, *Oceanol. Acta*, **9**, 4, 509-513.
- Vercelli C., 1985. Le golfe normano-breton : étude de la température de surface à l'aide des données satellitaires N.O.A.A., *Mém. IFREMER, D.E.R.O.*, Brest, 2 vol., 80 p.
- Wilson J. H., 1987. Reproduction of *Pecten maximus* (L.) in Kilkieran bay, Co. Galway, Ireland, *6th Inter. Pectinid Workshop, Menai-Bridge*.

Deep ocean sediment transport preliminary results of the high energy benthic boundary layer experiment

edited by A. R. M. Nowell and C. D. Hollister
reprinted from *Marine Geology, Elsevier ed.*,
vol. 66 (1-4), 420 p.

L'action des courants géostrophiques de fond (appelés parfois courants de contour) sur la sédimentation profonde reste encore mal élucidée au niveau des mécanismes qui régissent le transport et la remise en suspension des particules sédimentaires, ainsi que le dépôt de celles-ci avec formation de structures sédimentaires.

Le projet HEBBLE (High Energy Benthic Boundary Layer Experiment), initié en 1978 avec un très important soutien financier du Bureau Américain de Recherches Navales, se proposait une étude pluridisciplinaire, très détaillée (océanographie physique, sédimentologie, biologie, bio et géochimie), d'un secteur réduit du glacis de la Nouvelle-Écosse, bien connu pour être soumis à l'action de courants de fond intenses, d'origine arctique (48°27'N, 62°20'W, 4820 m de profondeur).

Dans ce volume, les auteurs ont tout d'abord rassemblé les premiers résultats concernant la seule description du site étudié : aspects sédimentologiques et stratigraphiques des dépôts et suspensions près du fond, accompagnés de quelques données biologiques indispensables pour envisager un modèle de transport des sédiments marins profonds, avec toutefois un effort important pour dégager des interprétations sur les processus sédimentaires. Au total 14 articles sur les 23 présentés leur sont consacrés. Parmi les nombreuses données fournies, nous retiendrons les suivantes :

- les concentrations de particules en suspension dans la couche néphéloïde sont extrêmement variables, de 0,5 à plus de 12 g/m³, valeurs beaucoup plus fortes que celles classiquement admises;
- les périodes de turbidité élevée correspondent à de brefs épisodes (quelques jours) de très forte énergie (tempêtes abyssales) et marqués par des vitesses des courants de l'ordre de 50 à 70 cm/s;
- les variations spatio-temporelles de cette turbidité seraient dues à l'hétérogénéité de la couche néphéloïde, qui serait constituée par la circulation de nuages de suspensions de concentration variable et d'origine lointaine ou locale;
- les relations entre granulométrie, densité et concentration des suspensions sont analysées en fonction des contraintes imposées par le courant et du rôle joué par les mucus organiques dans la formation d'agglomérats;
- le rôle de la bioturbation est envisagé à différents niveaux des processus : modification de la rugosité du fond, remise en suspension, taux de dépôt...;
- les taux de sédimentation estimés semblent très élevés (0,85 à 5,36 cm/an);
- enfin, un modèle théorique du transport des sédiments profonds est envisagé; il sera confronté aux résultats expérimentaux qui seront obtenus après la mise en œuvre du SeaDuct (*cf. infra*).

Il est fait ensuite une large place (9 articles sur 23) aux techniques nouvelles mises au point, et sans lesquelles le projet n'aurait pu être mené à bien : méthodes et instruments de mesures ou d'observation *in situ*, susceptibles d'être utilisés pendant des périodes de longue durée et de résister à de fortes pressions et aux importantes tractions exercées par les courants, en particulier lors des tempêtes. Certaines étaient encore en cours d'élaboration en 1985, comme le SeaDuct appareil qui, déposé sur le fond, permettra de simuler, dans des conditions naturelles, des variations dans les contraintes dues à un courant de fond et de contrôler les modifications au niveau des processus sédimentaires.

En résumé, cet ouvrage présente un grand intérêt pour tous ceux qui ont à faire avec les problèmes généraux de dynamique sédimentaire marine, et plus particulièrement ceux liés à l'action de courants de fond. Si les démarches et nouvelles techniques à utiliser sont parfaitement illustrées, on regrettera toutefois qu'il ne représente qu'une vue partielle des résultats déjà publiés dans le cadre de ce projet, et touchant à la biologie, l'océanographie physique ou à d'autres aspects de la sédimentologie, résultats largement évoqués dans l'article de synthèse rédigé en conclusion par les deux co-éditeurs.

Jean-Claude Faugères,
Géologie-Océanographie,
Université de Bordeaux I,
avenue des Facultés,
33405 Talence Cedex, France.

Région Nord-Pas-de-Calais/ IFREMER Carte des sédiments superficiels au large de Boulogne-sur-Mer (France)

par Claude Augris et al.,
édité par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Centre de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Centre de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 150, quai Gambetta, BP 699, 63221 Boulogne-sur-Mer, avril 1987, 250 FF.

La pochette plastique contient deux cartes au 1/43 600, (même échelle que la carte marine 6795), et une notice explicative en langues française et anglaise.

Ces cartes en couleur couvrent la région comprise entre le littoral et le rail de navigation de la Manche; la carte méridionale va de Berck à Boulogne et la seconde de Boulogne à Calais. L'utilisation d'un sonar latéral précis a permis de dresser une cartographie fidèle de la morphologie des fonds sous-marins soumis à l'action énergétique des houles et des courants de marée. On y remarque, dans la carte Sud, la présence de trois grands corps sableux, allongés suivant la direction des courants de marée, et séparés par des nappes de cailloutis résiduels. Ils sont sculptés par une profusion de rides transversales (mégarides ou ridens), dépassant parfois 10 m d'amplitude. Au Nord, ces bancs s'effiloquent en rubans sableux et font place aux fonds rocheux asédimentaires du Cap Gris-Nez.

Huit cents prélèvements géologiques ont permis de définir la nature et la granulométrie des dépôts superficiels. Toutes ces informations sont destinées aux navigateurs, pêcheurs et plaisanciers, et constituent d'utiles documents complémentaires de bord, d'un prix élevé toutefois.

Maurice Genesseeux,
Laboratoire de Géologie dynamique,
Université Pierre-et-Marie-Curie,
4, place Jussieu,
75252 Paris Cedex 05.