

IMPACT DES FACTEURS ANTHROPIQUES SUR LE RECRUTEMENT
DE L'HUITRE: L'EXEMPLE DU BASSIN D'ARCACHON

Edouard His & René Robert

IFREMER, Quai du Commandant-Silhouette, 33120 Arcachon

Mots-clés : bassin d'Arcachon, *Crassostrea gigas*, larves, température, nutrition, bioessais, facteurs anthropiques

Key words : Arcachon Bay, *Crassostrea gigas*, larvae, temperature, nutrition, bioassays, micropollutants

Résumé

"Il est impossible d'imaginer un lieu plus favorable à l'ostréiculture que le bassin d'Arcachon" (Yonge, 1950). En effet, l'huître indigène, *Ostrea edulis*, et l'espèce plus récemment introduite, *Crassostrea gigas*, peuvent s'y reproduire en abondance. Si l'exploitation de la première a pris fin à la suite de deux épizooties consécutives, la seconde est l'objet d'une culture intensive dont la production annuelle est d'environ 12 000 tonnes de mollusques commercialisés.

Des anomalies ont sévi dans la baie, de 1977 à 1981, rendant les récoltes de naissain pratiquement inexistantes, ce qui a fortement participé au déclin momentané des activités ostréicoles. Les véligères de *Crassostrea gigas* sont particulièrement sensibles aux facteurs d'agression, et ont même été proposées par Woelke (1967) comme matériel biologique, afin de tester la qualité des eaux en zone littorale.

La technique des élevages larvaires en milieu contrôlé a permis d'expliquer les anomalies arcachonnaises. Il a été démontré que des nuisances, liées aux activités anthropiques (utilisation des peintures antisalissures à base de sels organo-métalliques de l'étain), étaient en grande partie responsables des phénomènes observés. Néanmoins, les perturbations ne se sont pas manifestées par action sur les géniteurs (qualité des gamètes), ou sur les larves (substances présentes dans l'eau de la baie et agissant directement sur celles-ci), mais probablement par action sur le premier maillon de la chaîne alimentaire : les "algues fourrages" du nanoplancton. Il s'en est suivi une perturbation du régime trophique des véligères.

Quelques mois après les mesures restrictives relatives à l'utilisation de ces peintures, on notait un retour à la normale en ce qui concerne le captage dans le bassin d'Arcachon. Les phénomènes observés constituent un exemple caractéristique des nuisances liées à l'action de facteurs anthropiques sur le recrutement d'un mollusque d'intérêt commercial.

Résumé

**Impact of anthropic factors on the recruitment of the oyster:
the example of the Bay of Arcachon**

"It is impossible to imagine an area better suited for oyster culture than the almost, completely land-locked Bay of Arcachon" (Yonge, 1950). Indeed the native flat oyster, *Ostrea edulis*, and the most recently introduced species *Crassostrea gigas*, can be reproduced abundantly. Two severe diseases have however affected the flat oyster, though the Japanese oyster is still

cultivated with an average production of 12 000 tons of marketed molluscs.

For five years on end, 1977 to 1981, spatfall did not occur ; abnormalities in the first stages of the development of oyster larvae were found. This decreased Arcachon's oyster production considerably. *Crassostrea gigas* larvae are very sensitive to pollutants and Woelke (1967) proposed this species for bioassays in order to appreciate the quality of estuarine waters.

Experiments in the hatchery rearing of *Crassostrea gigas* larvae showed that antifouling paints, especially those with tributyletin oxide, present a real danger for spatting areas. There is however no effect of T.B.T.O. (body burdens) in adult *C. gigas* on the fecundity and viability of larvae, nor any direct action on the veligers at the toxicant level of the water. It was found though that the growth of some unicellular algae was affected or inhibited, and as the feeding behaviour of the field veligers was abnormal, pollution was suspected of having decreased nanoplankton production or altered the dominance of algal species. A few months after the use of organotin paints was prohibited, a very good spatfall occurred in Arcachon.

This research shows how micropollutants can affect the recruitment of the oyster.

INTRODUCTION

Le bassin d'Arcachon est une vaste baie de 155 km² qui entaille le littoral Aquitain entre l'estuaire de la Gironde et la Bidassoa. Il communique avec l'océan Atlantique par des passes étroites de 2,5 km de large, et reçoit dans sa partie continentale les eaux douces du canal des Etangs au nord, de l'Eyre au sud-est et du canal de Cazaux au sud ; de nombreux ruisseaux, les crastes, s'y déversent également (fig. 1).

Les parcs situés en bordure des nombreux platiers sableux ou sablo-vaseux occupent les 3/4 de sa superficie à marée basse. Ils sont découpés par un labyrinthe de chenaux qui convergent vers les passes.

Comme le rappelle YONGE (1960) "il est impossible d'imaginer une région mieux adaptée pour l'ostréiculture que cette baie presque entièrement entourée de terre".

Depuis la plantation, en 1850, d'une vaste forêt de pins destinée à fixer les dunes et à drainer les sols, la région entourant le bassin n'avait subi que peu de modifications jusqu'à une époque récente. Une usine de pâte à papier installée sur les bords de l'Eyre en 1927, déversait ses effluents dans cette rivière jusqu'aux environs de 1970.

A partir de 1950, une maïssiculture semi-industrielle s'est développée, entraînant un déboisement sur de vastes étendues ainsi que des apports massifs d'engrais et une irrigation importante (BONJOUR et CARUESCO, 1986).

Avec l'essor touristique, depuis une quinzaine d'années, le nombre d'habitants qui est de 70 000 en hiver, passe à 500 000 voire 700 000 en été. Parallèlement, dès 1974, on notait un accroissement important des activités nautiques sur le plan d'eau.

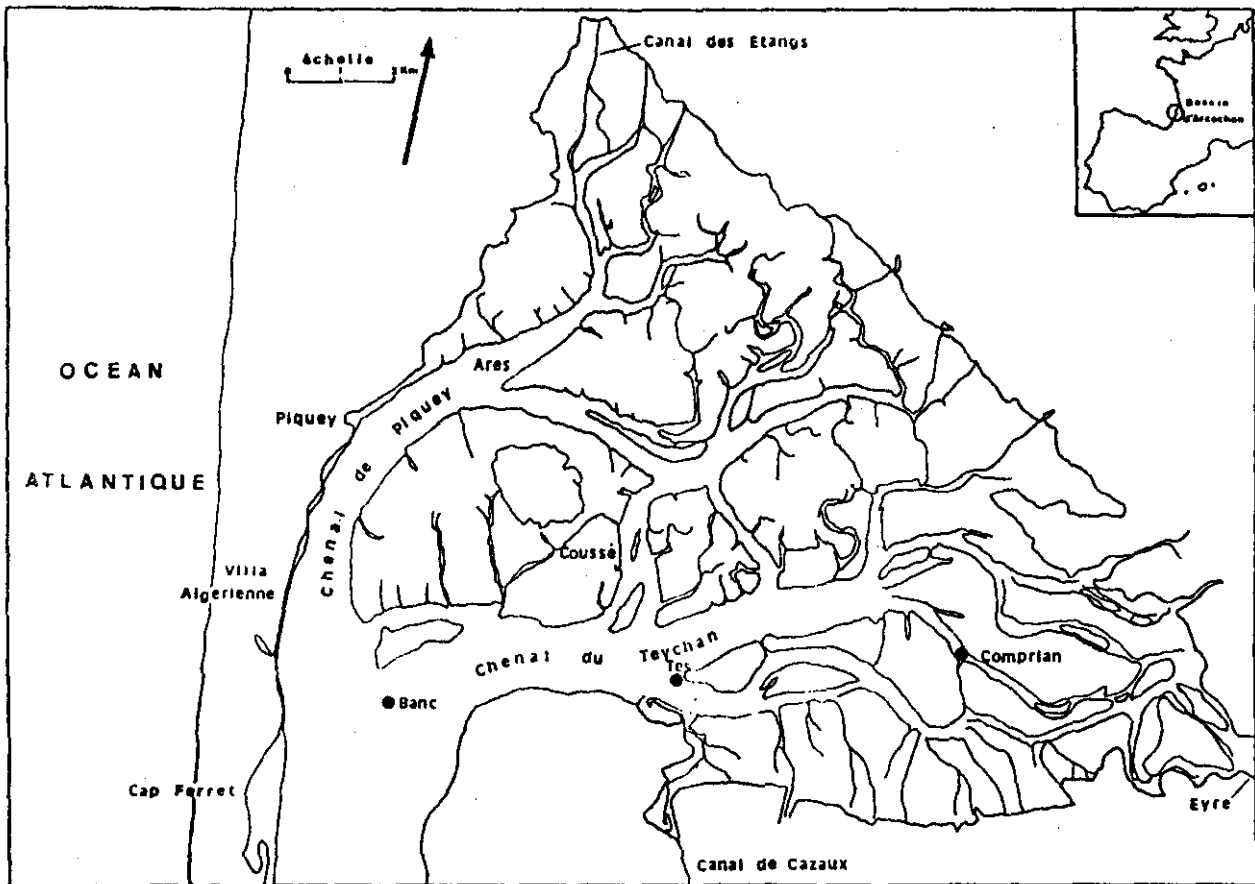


Fig. 1 - Carte du bassin d'Arcachon.
- The map of the Bay of Arcachon.

Malgré un site particulièrement favorable, l'ostréiculture arcachonnaise a subi différentes vicissitudes, dont l'irrégularité du captage constitue une des manifestations. L'influence des facteurs anthropiques sur ces phénomènes a pu être mise en évidence au cours de la dernière décennie.

LE BASSIN D'ARCACHON : CENTRE TRADITIONNEL DE CAPTAGE

1.1. De la naissance de l'ostréiculture moderne à 1976

C'est avec l'espèce indigène, *Ostrea edulis* L., que s'est mise en place l'ostréiculture moderne. A la fin du 19ème siècle, l'épuisement des gisements naturels surexploités avait amené le biologiste COSTE à promouvoir le développement de parcs de culture. Il devenait alors nécessaire de pouvoir disposer du premier maillon de toute forme d'aquaculture : le naissain. A l'issue de recherches menées dans différents centres conchylicoles français, un maçon, MICHELET, inventait le captage sur tuile chauffée. L'ostréiculture arcachonnaise actuelle se mettait en place, avec ses différentes phases caractéristiques : captage, semi-élevage, élevage et commercialisation.

Après l'épizootie de 1920 qui anéantit tout le cheptel de l'huître plate, l'espèce portugaise, *Crassostrea angulata* Lmk, lui succéda. Très rapidement elle colonisait l'ensemble de la baie ; "les grains de sable

eux-mêmes semblaient être choisis par les larves d'huîtres tant elles étaient nombreuses et pressées" (MARTIN, non daté). Pourtant, un déficit en naissain devait se faire sentir à partir de 1929. Les récoltes de jeunes huîtres étaient peu importantes de 1939 à 1945, insignifiantes de 1945 à 1951 et extrêmement pauvres de 1960 à 1965 (LABRID, 1969) (Tableau 1).

-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76

Tableau 1 - + = plus de 200 naissains par tuile, au détroquage.
 - = moins de 200 naissains par tuile, au détroquage.
 Années favorables (+) et défavorables (-) au captage dans le bassin d'Arcachon, de 1960 à 1976. En 1971, les deux espèces, *C. angulata* et *C. gigas*, se sont reproduites. A partir de 1972, seule l'huître japonaise était présente.

- *The years during which heavy spatfall occurred in the Bay of Arcachon (+ = more than 200 spat per tile, at the time of collecting) and the years during which poor spatfall occurred (- = less than 200 spat per tile at the time of collecting).*

Data from 1960 to 1976 : in 1971, both species, C. angulata and C. gigas were present. From 1972 to 1976 only the Japanese oyster was present.

Différentes estimations du nombre annuel de collecteurs posés (tuiles chaulées) ont été réalisées (BOMPAYRE, 1955 ; LATEOULE, 1967) :

- 1870 : 1 500 000
- 1936 : 7 000 000
- 1955 : 18 000 000.

Cet accroissement s'explique par le développement progressif de la conchyliculture, mais surtout par les récoltes des années déficitaires, les ostréiculteurs essayant de compenser les faibles rendements par tuile par l'augmentation du nombre de collecteurs. Parallèlement, les ostréiculteurs s'approvisionnaient en naissain dans l'estuaire de la Gironde.

A partir de 1966 (Tabl. 1), le captage redevenait florissant dans la baie. Nous verrons que ce retour à une situation favorable n'est peut-être pas le simple fait du hasard.

En 1970 et 1971, une nouvelle épizootie anéantit l'huître portugaise en quelques mois. L'huître japonaise, introduite sous forme de géniteurs ("huîtres mères") et de naissain, colonisait la baie dès 1971 et surtout en 1973, année particulièrement favorable à sa reproduction. On assistait au même phénomène qu'en 1920 avec *C. angulata*, tant le naissain récolté ou sauvage était abondant. De même, les récoltes de 1975 et 1976 étaient pléthoriques. A l'inverse, celles de 1972 et 1974 étaient faibles, les étés étant pluvieux et froids.

Depuis longtemps le bassin d'Arcachon est donc un centre naisseur important. Deux facteurs sont à l'origine de cette activité :

- un potentiel de production annuel élevé, estimé à 5 milliards de naissains, soit l'équivalent de trente écloséries industrielles,

- un naissain de très bonne qualité grâce au captage sur tuile chaulée, qui permet, lors du détroquage, d'obtenir pratiquement du naissain un à un, d'un poids unitaire élevé (environ 5 g) et d'un faible prix de revient (HIS et ROBERT, 1985).

La reconversion des centres conchylicoles bretons vers l'élevage de l'huître creuse et le développement des centres normands ont renforcé la position d'Arcachon dans sa vocation de centre producteur de naissain.

Des anomalies de la reproduction ont été mises en évidence de 1976 à 1981. Elles ont eu de graves conséquences pour l'ostréiculture arcachonnaise puisque la moitié des exploitations ont disparu pendant ces cinq années.

1.2. Les phénomènes observés au cours de la dernière décennie. Mise en évidence des anomalies

La reproduction de *C. gigas* dans le bassin d'Arcachon

Les grandes lignes de la maturation sexuelle et des pontes de *C. gigas* ont été dégagées (HIS, 1973, 1975). La ponte des huîtres intervient, selon les années, des premiers jours de juin aux premières semaines de septembre. Dans tous les cas, le frai le plus important a lieu avant la fin juillet.

Les pontes les plus massives se caractérisent par l'apparition de nappes blanchâtres qui s'étalent sur plusieurs centaines de mètres dans le chenal principal du Tès (fig. 1). Le lendemain, les larves D sont formées. Il s'écoule généralement trois semaines entre deux frais consécutifs mais les pontes ultérieures sont moins importantes sur le plan quantitatif. Il est donc possible de suivre le développement de ces principales cohortes.

Les modalités du développement des larves de *C. gigas* dans le bassin d'Arcachon ont été décrites (HIS, 1973 ; HIS et ROBERT, 1985). Des prélèvements de plancton sont effectués régulièrement afin de dénombrer les larves et de suivre leur développement. Différents stades, basés sur la taille et la morphologie des véligères permettent d'étudier l'évolution des cohortes (fig. 2, tableau 2). Les larves D ont une charnière droite : on distingue les grises, âgées au plus de 24 heures, qui présentent une couleur gris perle caractéristique et les larves en évolution présentant un léger bombement de la charnière et une coloration rouille. Leur hauteur (distance du sommet de l'umbo au bord ventral de la coquille) est inférieure à 105 μm .

Tous les stades ultérieurs sont umbonés : évolués, moyennes et grosses. Leur taille respective est précisée dans le tableau 2. L'apparition d'une tache fortement pigmentée (larves ocellées, environ 270 μm) indique l'approche de la métamorphose.

Lorsque le frai est bien individualisé (présence de larves grises pendant les seules premières 24 heures qui suivent la ponte), il est possible de suivre la croissance larvaire en fonction de l'âge. La mesure de la hauteur d'un échantillon de 100 individus sur clichés microphotographiques, à 1,5 μm près, permet d'établir la valeur moyenne, au seuil de sécurité de 95 %, aux différentes dates.

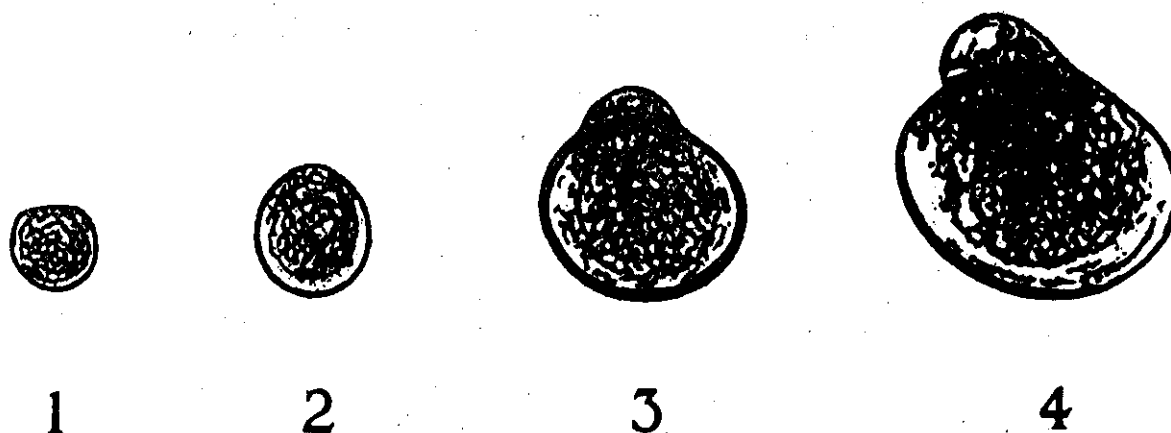


Fig. 2 - Les quatre stades de développement larvaire de *Crassostrea gigas*.
 - The four stages in the development of *Crassostrea gigas* larvae.

Jours après la fécondation	Appellations des malacologistes	Hauteur (µm)	Stades des biologistes conchylicoles	Hauteur (µm)
1 - 6	Véligères larves D	57-105	Petites dont : - grises (âge 24 H) - en évolution	57-105
6 à 18	Véligères umbonées	105-260	Evoluées Moyennes Grosses	105-150 150-235 235-260
18 à 22	Véligères oeillées	260-280	Oeillées	260
22 à 24	Pédivéligères	280-300		
> 24	Plantigrades	> 300	Naissains	> 300

Tableau 2 - Stades employés par les biologistes conchylicoles pour décrire le développement larvaire de *Crassostrea gigas* et leurs équivalences avec les appellations des malacologistes.

- Stages in the development of larvae of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* as described by oyster biologists and malacologists.

Sous des conditions de milieu favorables, température journalière moyenne supérieure ou égale à 22°C, des chocs thermiques importants (fort ensoleillement des parcs à marée basse, puis arrivée du flot) déclenchent des pontes massives : plusieurs centaines de milliers de larves par m². La durée de la vie pélagique est courte, la mortalité peu importante. Le stade évolué est atteint en six jours, plusieurs dizaines de milliers par m² ; les moyennes apparaissent après 9 jours, quelques dizaines de milliers par m², et les grosses après 12 jours, quelques milliers à quelques dizaines de milliers par m². Les courbes de croissance larvaire (fig.3) rendent compte de la régularité et de la rapidité du développement des véligères.

Lorsque les conditions de milieu sont défavorables, températures instables et inférieures à 22°C, les pontes sont peu massives (absence de chocs thermiques marquées). La croissance larvaire est ralentie (fig. 4), la mortalité par prédation plus importante. Quelques dizaines de milliers de larves D par m³ ne donnent que quelques centaines de larves évoluées par m³. Seules quelques dizaines de larves ocellées par m³ sont observées en fin de vie pélagique.

Mise en évidence des anomalies larvaires

Au cours de l'été 1976, un frai massif dans le secteur continental du bassin (590 000 larves D.m⁻³) disparaît en quelques jours sans qu'une évolution marquée des véligères soit observée. Les larves évoluées sont rares. La température de l'eau est pourtant supérieure à 23°C. Aucune anomalie n'est notée chez les larves D au niveau de la véliconche ou du velum. A l'inverse, les véligères en évolution sont très faiblement pigmentées et présentent une couleur jaune pâle délavé (habituellement rouille). Dès l'été 1977, le phénomène se généralise à l'ensemble de la baie et se manifeste jusqu'en 1981.

On observe une très légère croissance larvaire jusqu'au 6ème jour, puis la hauteur moyenne des véligères reste stationnaire (fig.3). Le stade évolué n'est pratiquement pas représenté, au maximum quelques dizaines ou centaines d'individus, alors que l'on dénombre jusqu'à 1 500 000 larves D.m⁻³. Les véligères disparaissent généralement en une semaine.

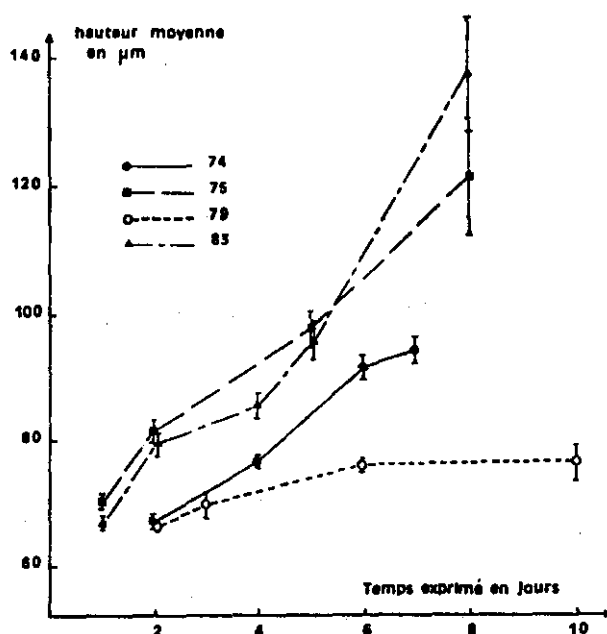


Fig. 3 - Croissance des véligères de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon : 1975 et 1983 : années favorables au développement larvaire ; 1974 : année peu favorable ; 1979 : année au cours de laquelle des anomalies ont été observées.

- The growth of *Crassostrea gigas* in the Bay of Arcachon during 1975 and 1983 (favorable conditions), 1974 (low summer temperatures) and 1979 (abnormality).

2. ETUDE EXPERIMENTALE DES PHENOMENES CONSTATES

2.1. Les hypothèses émises

Deux hypothèses principales étaient avancées pour expliquer les échecs répétés de la reproduction :

- l'action des facteurs climatiques, compte tenu des conditions thermiques peu favorables des étés de 1977 à 1980,

- l'action des facteurs anthropiques, liée au développement des activités agricoles sur le bassin versant (sylviculture et maïssiculture) et des activités de plaisance (motonautisme).

Seule la technique des élevages larvaires en milieu contrôlé permettait d'étudier les problèmes posés (LUCAS, 1975). Les anomalies n'affectant les véligères en milieu naturel que pendant les huit premiers jours de la vie pélagique, les observations ont donc été limitées à 12 jours, où l'ensemble des stades umbonés est représenté.

Les différentes techniques concernent la maturation des géniteurs, le déclenchement des pontes et la conduite des élevages de larves de *C. gigas* (ROBERT *et al.*, 1982). Rappelons simplement que les expériences sont menées dans les béciers stériles de 2 l contenant de l'eau de mer filtrée à 0.2 μm , à des salinités variant de 28 ‰ à 33 ‰ et à la température de 24°C. Les larves sont réparties à raison de 8 000.l⁻¹ et sont alimentées à l'aide de cultures d'*Isochrysis galbana* et de *Chaetoceros calcitrans* sur la base de 100 cellules μl^{-1} d'élevage.

La hauteur des véligères est mesurée lors des différents changements d'eau, en général tous les deux jours. La méthode des croissances comparées a été utilisée pour l'interprétation des résultats.

2.2. Action de la température sur le développement des véligères de *C. gigas*

La vie pélagique des larves de *C. gigas* se déroule de façon satisfaisante dans le bassin d'Arcachon quand la température de l'eau de mer est égale ou supérieure à 22°C (HIS, 1973). Entre 1977 et 1981, ces valeurs ont été rarement atteintes.

Par ailleurs, au cours d'une même semaine, des températures favorables (22°C) alternaient avec des valeurs plus basses (19 à 21°C). L'influence du facteur thermique sur les larves de *C. gigas* a donc été étudiée.

Action des basses températures

Les larves élevées à 18°C se développent moins vite (fig. 4) que les témoins (24°C). Le taux de croissance, au bout de 12 jours, ne représente que 58 % de celui des témoins. Néanmoins, 52 % d'évoluées et 8 % de moyennes sont observés, et les mortalités sont faibles : 5 % (HIS et ROBERT, 1985).

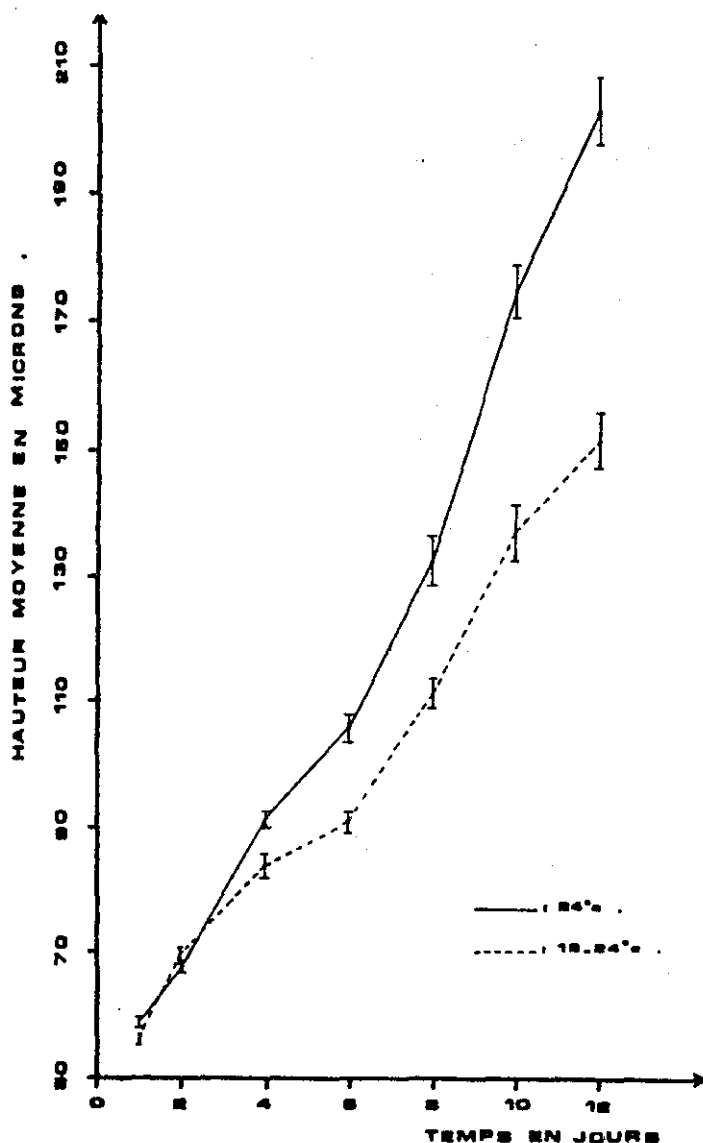


Fig. 4 - Croissance des larves de *Crassostrea gigas* élevées à 24°C et croissance des larves ayant subi des passages de 18° à 24°C.

- The growth of *Crassostrea gigas* larvae at 24°C and the growth of larvae reared at 18° and 24°C alternatively.

Action des fluctuations thermiques

Des larves ont subi des fluctuations thermiques supérieures à celles qui sont observées dans le milieu naturel par passages alternatifs de 18 à 24°C à intervalles de deux jours. On observe un ralentissement de la croissance larvaire (fig. 4) ; le taux de croissance final ne représente que 66 % de celui des témoins, mais on observe 60 % d'évoluées et 40 % de moyennes le douzième jour. Les mortalités s'élèvent à 10 %, comme chez les témoins.

Le facteur thermique joue un rôle important dans la vitesse de croissance des larves (HELM et MILLICAN, 1977). Néanmoins, du naissain peut être produit en éclosérie à 20°C (LUCAS, 1980). Des fluctuations thermiques importantes ne permettent pas de reproduire les phénomènes observés dans le milieu naturel. D'autre part, les anomalies se sont manifestées dans le bassin d'Arcachon pour des températures supérieures à 22°C (étés 1976 & 1982). Les conditions thermiques ne peuvent donc expliquer les problèmes de la reproduction de l'huître japonaise.

2.3. Seuils d'action de différents toxiques sur l'embryogenèse et les larves de *C. gigas*

Pesticides et herbicides

La lutte contre la chenille processionnaire du pin dans le massif forestier est effectuée à l'aide du *Bacillus thuringiensis*, sérotype H14 qui s'est révélé peu toxique sur les oeufs et les larves de *C. gigas*. Il est sans action sur la croissance larvaire jusqu'à la concentration de 5 mg.l^{-1} (HIS et ROBERT, 1984, données non publiées).

Le vernolate et l'atrazine-simazine, herbicides principalement utilisés en maïssiculture, exercent une action défavorable sur la croissance larvaire à des concentrations respectives de 0.25 mg.l^{-1} (HIS & ROBERT, 1985, données non publiées) et 1 mg.l^{-1} (ROBERT *et al.*, 1986). La recherche des pesticides et herbicides dans les cours d'eau et les ruisseaux qui se déversent dans la baie s'est révélée négative (ANONYME, 1982). La technique des bioessais (WOELKE, 1967) a confirmé l'absence de micropolluants, que ce soit dans les eaux de ruissellement ou dans les sédiments littoraux, à l'émonctoire des principales arrivées d'eaux douces, dans le bassin d'Arcachon (HIS & *al.*, 1986).

Le sulfate cuivrique

Le développement de l'élevage en poches ostréophiles dans le bassin d'Arcachon s'est traduit par une augmentation du nombre de supports offerts aux épibiontes. Pour lutter contre cette nuisance (colmatage des mailles des poches), les ostréiculteurs traitaient leurs installations en mer à l'aide d'une solution de sulfate cuivrique à 7 %. Cette pratique s'était rapidement généralisée, plusieurs tonnes de ce sel métallique étaient déversées annuellement dans la baie, principalement à la fin du printemps. Le sulfate cuivrique est toxique pour les larves de *C. gigas* à la concentration de $25 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ (HIS et ROBERT, 1982).

Les peintures antisalissure

Le développement du motonautisme sur le plan d'eau (environ 15 000 embarcations de plaisance) s'est accompagné de l'utilisation de peintures antisalissure pour lutter contre les organismes encroûtants. L'emploi intensif de ces produits, qui par définition agissent sur les stades larvaires des épibiontes, pouvait avoir aussi des conséquences défavorables sur le déroulement de la vie pélagique de *C. gigas*. De plus, les peintures antisalissure à base d'oxyde cuivreux (Cu_2O) avaient fait place à de nouvelles formulations contenant des sels organostanniques, plus efficaces.

Action des sels cuivreux sur la reproduction de l'huître

Des huîtres ont mûri leurs gonades en présence d'oxyde cuivreux. Elles ont été placées sur parc dans des caisses ostréophiles dont les parois latérales étaient recouvertes ou non (témoins) de peinture antisalissure. L'induction du frai au laboratoire a permis l'obtention de larves D normales dans les deux cas. Aucune différence significative de croissance n'a été observée (tableau 3). Les peintures antisalissure à base d'oxyde

cuvreux n'exercent donc pas d'action défavorable sur la qualité des gamètes chez *C. gigas*.

AGE DES LARVES EXPRIME EN JOURS	TÉMOINS	TBT	Cu ₂ O
1	54.27±0.78	58.65±0.32	57.42±0.57
3	69.28±0.47	69.26±0.68	74.99±0.48
5	84.41±0.78	79.87±1.01	91.28±0.77
7	104.30±1.36	96.3±1.32	114.01±1.35
9	130.80±1.99	117.63±1.69	134.31±3.09
11	155.04±2.74	149.07±2.60	161.8±3.04

Tableau 3 - Hauteurs moyennes, en μm au seuil de sécurité de 95 %, des véligères obtenues à l'aide de géniteurs ayant mûri leur gonade en présence de peintures antisalissure à base de TBT et de cuivre Cu₂O, ou en l'absence de peinture (témoin).

- Mean shell width ($\mu\text{m} \pm 95\%$ confidence limit) of *Crassostrea gigas* larvae from oysters grown without any antifouling paint (controls), in the presence of antifouling paints with organotin compounds (TBT) or cupric oxide (Cu₂O), from day 1 to day 11 after fertilization.

L'oxyde cuivreux est peu soluble dans l'eau. En eau de mer, le cuivre se trouve normalement à l'état d'oxydation +2, associé à des ions chlorures, carbonates et hydroxydes. La toxicité directe du chlorure cuivrique (CuCl₂) sur les larves de *C. gigas* a donc été étudiée. Au-dessus de la concentration de 5 $\mu\text{g.l}^{-1}$, la croissance larvaire est retardée (HIS et ROBERT, 1981). Les anions associés au cuivre influent sur la toxicité de ce dernier, puisque le chlorure cuivrique est cinq fois plus toxique que le sulfate cuivrique (5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ et 25 $\mu\text{g.l}^{-1}$ respectivement).

L'action de tout altéragène pouvant intervenir par voie indirecte en perturbant le régime trophique des organismes, la toxicité du cuivre a été recherchée sur les algues fourrages dont se nourrissent les larves en milieu contrôlé. Pour des concentrations inférieures à celles qui perturbent la croissance larvaire de *C. gigas* (1 et 5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de chlorure cuivrique), les multiplications cellulaires d'*Isochrysis galabana* et de *Chaetoceros calcitrans* ne sont pas inhibées. La croissance de ces algues, sur une période de trois semaines, est semblable à celle des témoins (ROBERT & HIS, 1986, données non publiées).

Action des organostanniques sur la reproduction des huîtres

Comme précédemment, des huîtres ont mûri leur gonade en présence de peinture antisalissure à base de sel organométallique de l'étain. L'induction du frai au laboratoire a permis l'obtention de larves D normales. Un léger retard de croissance (10 % par rapport au témoin) a été observé (tableau 3). La fertilité des géniteurs n'est donc pas fortement affectée.

A l'inverse, la toxicité directe du T.B.T.O sur les larves a pu être mise en évidence dès 1980 (HIS et ROBERT, 1980). A la teneur de $5 \mu\text{g.l}^{-1}$ ce produit inhibe la formation des larves D. Une échelle d'action du T.B.T.O. sur l'embryogénèse et la vie larvaire de *C. gigas* a été établie (ROBERT & HIS, 1981 ; HIS *et al.*, 1985). Il faut descendre à des concentrations aussi basses que $0.02 \mu\text{g.l}^{-1}$ pour qu'aucune action sur les véligères de l'huître japonaise ne soit observée (tableau 4).

Concentrations ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Action sur la reproduction de <i>Crassostrea gigas</i>
100	Inhibition de la fécondation.
50	Inhibition de la segmentation.
25	Inhibition partielle de la segmentation (40 %)
10	Absence de formation des trochophores.
3 et 5	Pas de véligères - Trochophores monstrueuses.
1	Véligères anormales - Mortalité totale en 6 jours.
0,5	Nombreuses larves anormales - Mortalité totale en 8 jours. perturbation du régime trophique, s'accroissant du 4 ^e au 8 ^e jour. Croissance très réduite.
0,2	Pourcentage des larves D anormales moins élevé. Perturbation du régime trophique dès le 4 ^e jour. Mortalités progressives ; totales le 12 ^e jour. Croissance faible.
0,1	Larves D en majorité normales. Perturbation marquée du régime trophique dès le 6 ^e jour. Croissance faible jusqu'au 6 ^e jour. Mortalité subtotale le 12 ^e jour.
0,05	Larves D normales. Perturbation du régime trophique marquée le 8 ^e jour. Mortalités importantes à partir du 10 ^e jour. Croissance réduite.
0,02	Larves D normales. Mortalités réduites. Bonne croissance. Pas d'action du produit.

Tableau 4 - Echelle d'action de l'acétate de tributylétain sur l'embryogénèse et le développement des larves de *Crassostrea gigas*.

-Scale of T.B.T.O. effect on the embryonic and larval developments of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*.

De même, les peintures antisalissure à base de I.B.T.O. ont une action néfaste sur le nanoplancton à des teneurs inférieures à celles qui perturbent directement la croissance des véligères de *C. gigas* (HIS *et al.*, 1986). Ainsi, des plaquettes de verre stériles, enduites de surfaces de peinture à base d'organostannique, variant de 1 cm² à 0.01 cm², ont été immergées dans des cultures d'algues. Dès les premiers jours, les multiplications cellulaires chez *Isochrysis galbana* et *Chaetoceros calcitrans* sont fortement perturbées par une surface de 0.01 cm². La quantité de toxique relarguée est de 1.2 µg.cm⁻² par jour (SMITH, 1971) soit 1.2 . 10⁻² µg pour 0.01 cm².

Deux autres espèces *Tetraselmis suecica* et *Phaeodactylum tricor-nutum* sont moins sensibles. Or *I. galbana* et *C. calcitrans* présentent une excellente qualité alimentaire pour les véligères de *C. gigas* (HELM et MILLI-CAN, 1977).

Les composés organostanniques sont donc particulièrement toxiques pour les véligères de *C. gigas*, mais peuvent aussi à des teneurs plus basses, perturber les multiplications cellulaires de certaines espèces nanoplanctoniques.

2.4. Recherches sur la "qualité biologique" de l'eau du bassin d'Arcachon

Au moment où sévissaient les anomalies du développement larvaire de *C. gigas* dans le bassin d'Arcachon, les méthodes chimiques n'étaient pas suffisamment au point pour pouvoir doser les organostanniques à des concentrations aussi basses que le µg.l⁻¹. Une méthode biologique, la technique des bioessais (WOELKE, 1967) a donc été utilisée afin de rechercher la relation éventuelle entre les résultats acquis au laboratoire concernant la toxicité du I.B.T.O. et les anomalies de la reproduction observées *in situ*.

Incidence de la "qualité biologique" de l'eau sur les géniteurs

Les phénomènes de bio-accumulation chez les organismes filtreurs sont bien connus. Les éléments toxiques présents dans l'eau de mer peuvent être accumulés par les huîtres. Leur fécondité peut être affectée, ce qui se traduit par une perturbation du développement larvaire (ZAROOGIAN et MORRISON, 1981).

Des élevages larvaires ont donc été conduits au laboratoire, avec de l'eau de mer prélevée à l'océan, et des huîtres d'Arcachon dont la gamétogénèse s'était déroulée soit dans la baie elle-même, soit à l'extérieur (Cancale). Dans les deux cas, les taux d'anomalies larvaires et les taux de mortalité étaient faibles. La croissance des véligères était du même ordre (HIS et ROBERT, 1985). L'eau de la baie permettait donc un déroulement normal de la maturation.

Incidence de la "qualité biologique" de l'eau sur la vie larvaire

Pontes, fécondations et élevages larvaires ont été effectués dans de l'eau de mer prélevée dans le chenal principal d'avril à juillet 1981, dans trois stations différentes : Le Banc, le Tès et Comprian (fig. 1). Les élevages témoins étaient réalisés en eau de l'océan prélevée au large du bassin d'Arcachon. Dans tous les cas, les larves D ne présentaient que

peu ou pas d'anomalies morphologiques et les croissances étaient comparables. On observait plus de 50 % de véligères évoluées le sixième jour et des pédivéligères étaient obtenues sans difficulté (HIS et ROBERT, 1985).

Pendant que sévissaient les anomalies, l'eau de la baie permettait donc un développement larvaire normal.

Des élevages ont été conduits en eau de mer prélevée dans le port de plaisance d'Arcachon en juillet 1981. La présence de 40 % de larves anormales était observée dès les premières 24 heures. Elles étaient décimées progressivement par des mortalités jusqu'au 12ème jour. La croissance était ralentie par rapport au témoin. Néanmoins le stade évolué était atteint le sixième jour, et 69 % des larves étaient umbonées le douzième jour.

Si l'absence de reproduction devait être imputée à une action directe des peintures antisalissure sur les véligères, les phénomènes observés *in situ* (absence d'anomalies larvaires mais croissance inhibée) auraient dû être retrouvés avec l'eau du port où stagnent en permanence de nombreuses embarcations. Or il n'en était rien.

2.5. Etude expérimentale sur les véligères du milieu naturel

Des larves de *C. gigas*, ont pu être isolées du bassin d'Arcachon, à l'âge de un jour, deux jours et quatre jours, au cours de l'été 1981 et mises en élevage au laboratoire (HIS & al., 1986). Les hauteurs moyennes respectives lors des prélèvements, $59,43 \mu\text{m} \pm 0,87$, $64,85 \mu\text{m} \pm 0,89$ et $64,83 \mu\text{m} \pm 0,82$, démontraient la stagnation de la croissance après les premières 48 heures.

A l'inverse, mises en élevage les véligères du bassin présentaient dans les trois cas une croissance continue (fig. 5).

Des larves du milieu naturel élevées en eau de la baie, au laboratoire, se développaient donc normalement. Elles recevaient une alimentation appropriée, sous forme de culture d'algues monocellulaires.

On pouvait supposer que, dans le bassin, l'absence de croissance observée, en phase exotrophe, s'expliquait par un déficit nutritionnel.

L'aptitude des larves de la baie à se nourrir était donc démontrée par leur croissance au laboratoire. Or, pour de basses teneurs en I.B.T.O. ($0,05 \mu\text{g.l}^{-1}$), le régime trophique est perturbé et les larves ne s'alimentent pas même en présence de nourriture (tableau 4). Ceci ne correspondait pas aux phénomènes mis en évidence.

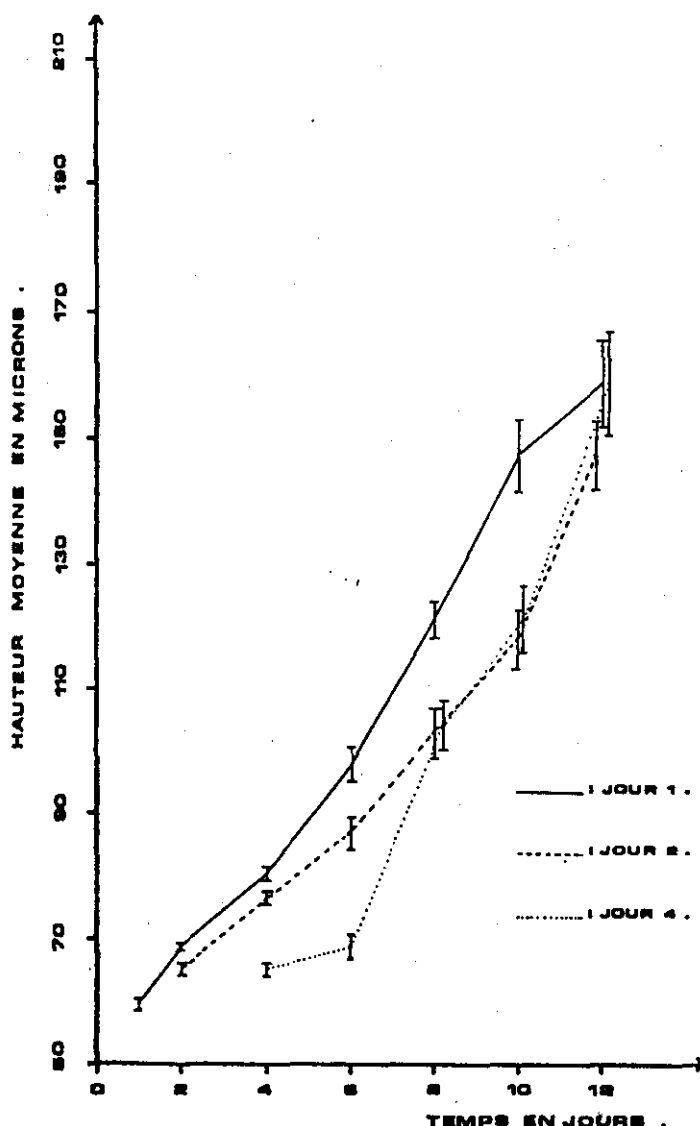
L'hypothèse d'une action directe sur les larves était donc exclue. A l'inverse, on pouvait supposer que le développement de certaines espèces du nanoplancton, indispensables à la croissance larvaire (LUCAS, 1982 ; LUCAS *et al.*, 1986), était perturbé.

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

- Les eaux douces qui se déversaient dans la baie ne véhiculaient pas d'éléments toxiques susceptibles de perturber la reproduction des huîtres ou les multiplications cellulaires des algues fourrages.

Fig. 5 - Croissance des véligères de *Crassostrea gigas* prélevées dans le bassin d'Arcachon 24 h, 2 jours et 4 jours après la ponte, en 1981.

- The growth of *Crassostrea gigas* larvae collected in the Bay of Arcachon 1, 2 and 4 days after a heavy spawning (summer 1981).



- L'action défavorable s'exerçait sur le plan d'eau. La recherche des seuils de toxicité des différents altéragènes sur le développement embryonnaire et larvaire ont montré une atteinte des véligères, même en présence d'une nourriture appropriée. Or la "qualité biologique" de l'eau permettait un développement larvaire normal. Il ne s'exerçait donc aucune action directe des différents altéragènes sur les véligères elles-mêmes.

Les expérimentations sur les cohortes du milieu naturel ont montré que le développement était possible en eau de la baie en présence des algues fourrages. Les anomalies de la reproduction s'expliquaient donc par une action sur le nanoplancton. Les ions cuivriques, à des teneurs toxiques pour les véligères, ne perturbent pas la multiplication des algues monocellulaires. A l'inverse, les substances actives de peintures antisalissure agissent fortement sur la croissance du nanoplancton à des concentrations sans effet sur les larves.

L'interdiction des peintures antisalissure à base d'organostannique a coïncidé avec un retour du captage dans le bassin d'Arcachon. Il a été très abondant tous les ans, de 1982 à 1985. Des observations sur le phytoplancton au cours de l'été 1982 ont montré une prédominance du na-

noplancton jusqu'à la fin août. Ce dernier présentait les caractéristiques (taille et diversité) indispensables à l'alimentation des larves de *C. Gigas* (MAURER *et al.*, 1984).

Dans la baie, le carrénage annuel et la remise à l'eau des embarcations de plaisance sont effectués au printemps. Il s'était donc écoulé plus d'un an entre le dernier apport massif de T.B.T.O. et la saison de reproduction de 1982. Or les peintures antisalissure libèrent principalement des éléments actifs pendant les premiers mois de lixiviation. La qualité de l'eau du port de plaisance s'était nettement améliorée de juillet 1981 à avril 1982 (HIS *et al.*, 1985). Ceci traduit probablement un retour à de bonnes conditions de milieu sur l'ensemble du bassin. La reprise du captage a permis le passage de la production arcachonnaise de 3 000 tonnes d'huîtres marchandes en 1981 à 15 000 tonnes en 1985 (ANONYME, 1986).

De même, en 1966, l'usine de pâte à papier détournait les éléments les plus toxiques de ses effluents vers des champs d'épandage. "S'il ne semblait pas que la nocivité des effluents (65 000 m³ par jour) ait été démontrée par les scientifiques" (LATEOULE, 1967), l'utilisation de ces champs d'épandage a coïncidé avec la reprise régulière du captage dans le bassin d'Arcachon (fig.1). Dès 1967, les effets délétères des effluents de papeterie sur les oeufs et les embryons de *C. Gigas* étaient démontrés (WOELKE, 1967).

L'action des facteurs anthropiques pouvait expliquer les anomalies de la reproduction de l'huître portugaise.

Ces deux exemples montrent bien que les activités humaines peuvent fortement perturber les bassins conchylicoles, en particulier les centres de captage. Le bassin d'Arcachon est un site idéal pour l'ostréiculture. Son caractère semi-fermé, s'il en fait une véritable éclosérie naturelle, explique aussi sa sensibilité particulière aux altéragènes qui s'évacuent mal vers l'océan.

Les facteurs anthropiques ont un impact important sur le recrutement de l'huître. Dès 1969, LOOSANOFF expliquait le déclin de l'ostréiculture aux Etats-Unis par la dégradation générale des conditions de milieu. MATTHIESSEN (1970) soulignait à son tour la détérioration des zones conchylicoles et BERG (1971) expliquait les mortalités larvaires en Californie par l'absence vraisemblable, *in situ*, d'une nourriture convenable pour les véligères.

Les résultats acquis au cours de la dernière décennie ont montré que toute anomalie de la reproduction doit induire, s'il y a lieu, la prise de mesures tendant à rétablir l'intégrité du milieu. Les larves de *C. gigas* constituent un bon organisme sentinelle en zones littorales (HIS & ROBERT, 1985) car "là où les huîtres creuses se reproduisent bien, les autres organismes marins aussi" (WOELKE, 1967).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, 1982. - Recherches de produits phytosanitaires dans le bassin d'Arcachon.-*Rapp. D.D.A.S.S. Gironde* : 100 p.
- ANONYME, 1986. - Evolution de la conchyliculture. Charentes, Poitou, Aquitaine. Monographie.-*Direction des Affaires Maritimes, Bordeaux*. Tomes 1 et 2.
- BERG C.J., 1971. - Review of possible causes of mortality of oyster larvae of the genus *Crassostrea* in Tomales Bay, California.-*Fish and Game*, 57 (1) : 69-75.
- BOMPAYRE J., 1955. - Observations sur la production du naissain dans le bassin d'Arcachon.-*La Pêche Maritime*. 233 : 670.
- BONJOUR D. & CARRUESCO C., 1986. - Origine de la matière organique dissoute et particulaire dans le bassin d'Arcachon. Apports autochtones et allochtones, essai de bilan.-*Bulletin de l'Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 39 : 73-83.
- HELM M.M. & MILLICAN P.F., 1977. - Experiments in the hatchery of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg).-*Aquaculture*, 11 : 1-12.
- HIS E., 1973. - La reproduction de *Crassostrea gigas* Thunberg dans le bassin d'Arcachon : bilan de deux années d'observations.-*CIEM Comité des crustacés, coquillage et benthos*. CM/K : 17.
- HIS E., 1975. - La détection des pontes dans le milieu naturel : application de l'ostréographie à l'étude de la reproduction des huîtres.-*Halio-tis*, 5 : 206-213.
- HIS E. & ROBERT R., 1980. - Action d'un sel organo-métallique, l'acétate de trybutylétain sur les oeufs et les larves D de *Crassostrea gigas* (Thunberg)-*CIEM, CM 1980 F* : 27, 10 p.
- HIS E. & ROBERT R., 1981. - Effects of copper chloride on the eggs and D larvae of *Crassostrea gigas* (Thunberg). Preliminary results.-*CIEM, Mari-culture committee, CM/F* : 43, 14 p.
- HIS E. & ROBERT R., 1981 (1982). - Le danger des traitements par le sulfate de cuivre en zone conchylicole : toxicité vis-à-vis des oeufs et des jeunes larves de *Crassostrea gigas*.-*Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*. 45 (2) : 117-125.
- HIS E. & ROBERT R., 1983 (1985). - Développement des véligères de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Etudes sur les mortalités larvaires.-*Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*. 47 (1 et 2) : 63-88.
- HIS E., MAURER D. & ROBERT R., 1983 (1985). - Estimation de la teneur en acétate de trybutylétain dans l'eau de mer, par une méthode biologique.-*Journal of Molluscan Studies Supplement 12 a* : 60-68.

- HIS E., MAURER D., & ROBERT R., 1984 (1986). - Observations complémentaires sur les causes possibles des anomalies de la reproduction de *Crassostrea gigas* (Thunberg) dans le bassin d'Arcachon.-*Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 48 (1 et 2) : 45-54.
- LABRID C., 1969. - Perspectives et avenir de l'ostréiculture dans le bassin d'Arcachon.-Feret et Fils édit., Bordeaux, 209 p.
- LAIEOULE R., 1967. - L'ostréiculture dans le bassin d'Arcachon.-*Diplôme d'Etudes Supérieures de Géographie*, Bordeaux, 143 p.
- LOOSANOFF V.L., 1969. - Development of shellfish culture techniques.-*Proceedings of the Conference on Artificial Propagation of commercially valuable shellfish, 22-23 October 1969*, College of Marine Studies University of Delaware, Newark, 40 p.
- LUCAS A., 1975. - Les écloséries de mollusques bivalves.-*Haliotis* 5 : 14-34.
- LUCAS A., 1980. - Problèmes de génétique, d'écophysiologie et de pathologie dans les écloséries de bivalves.-*Océanis* 5 : 1-23.
- LUCAS A., 1982. - La nutrition des larves de bivalves.-*Océanis* 8 : 363-388.
- LUCAS A., CHEBAB-CHALABI L. & ALDANA-ARANDA D., 1986. - Passage de l'endotrophie à l'exotrophie chez les larves de *Mytilus edulis*.-*Oceanologica Acta*. 9 (1) : 97-103.
- MARTIN G., non daté. - Agriculteurs de la mer. 95 p.
- MAIHIESSEN G., 1970. - A review of oyster culture and the oyster industry in North America.-*Contribution n° 2528 from the Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts* : 52 p.
- MAURER D., HIS E., & ROBERT R., 1984. - Observations sur le phytoplancton du bassin d'Arcachon. Rôle potentiel dans la nutrition des larves de *Crassostrea gigas*. - *CIPEM, CM* 14 : 10 p.
- ROBERT R., & HIS E., 1981. - Action de l'acétate de tributylétain sur les oeufs et les larves D de deux mollusques d'intérêt commercial : *Crassostrea gigas* (Thunberg) et *Mytilus galloprovincialis* (Lmk).-*CIEM, CM* 42 : 15 p.
- ROBERT R., HIS E. & MAURER D., 1981 (1982). - L'unité d'écophysiologie et de molysmologie larvaire des bivalves d'intérêt commercial du laboratoire I.S.T.P.M. d'Arcachon.-*Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 45 (3) : 197-209.
- ROBERT R., HIS E. & MAURER D., 1986. - Toxicité d'un désherbant, l'Atrazine-Simazine sur les jeunes stades larvaires de *Crassostrea gigas* et sur deux algues fourrages *Isochrysis aff. galbana* et *Chaetoceros calcitrans*.-*Haliotis*, sous presse.
- SMITH B.S., 1981. - Tributyltin compounds induce male characteristics of female mud snails *Nassarius obsoletus* : *Ilyanassa obsoleta*.-*Journal of Applied Toxicology* 1 (3) : 141-144.

- WOELKE C.E., 1967. - Measurements of water quality with the Pacific oyster embryo Bioassay.-*Water quality Criteria, ASTM STP 416, Am. Soc. Testing Mats* : p. 112.
- YONGE C.M., 1960. - Oyster.- Collins Edit.; Londres : 209 p.
- ZARROGIAN G.E. & MORRISON G., 1981. - Effect of cadmium body burdens in adult *Crassostrea virginica* and on fecundity and viability of larvae. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology*, 27 : 344 - 348.-