

les peintures marines antisalissures et leur impact sur l'ostréiculture

Cl. ALZIEU (1) - M. HERAL (2) - J.-P. DRENO (3)

(1) IFREMER DERO/MR Nantes

(2) IFREMER DRV/RA La Tremblade

(3) IFREMER DRV/RA Arcachon



Ie 17 janvier 1982, le Ministre de l'Environnement prenait un arrêté limitant l'emploi des peintures antisalissures à base de dérivés organostanniques pour les bateaux d'une longueur inférieure à 25 m. Cette décision, prise après avis de la Commission d'évaluation de l'écotoxicité des substances chimiques, était destinée à protéger les élevages ostréicoles contre des nuisances graves liées à l'utilisation croissante de ce type de peinture. Ces dispositions, adoptées quelques mois seulement après la mise en évidence des effets néfastes des organoétains, ont permis de sauvegarder l'ostréiculture dans certaines zones menacées. De plus, elles ont entraîné une prise de conscience internationale des risques écologiques liés à la lutte contre les salissures biologiques marines.

le problème des salissures biologiques

Les salissures biologiques sont le résultat de la fixation d'organismes marins sur un support solide immergé. On dénombre actuellement plus de 4 000 espèces responsables des salissures sur les coques des navires, parmi lesquelles figurent les microorganismes, des végétaux et une multitude d'animaux divers... (1)

Les salissures biologiques ont des effets néfastes sur les coques des bateaux lesquelles doivent être entretenues régulièrement.

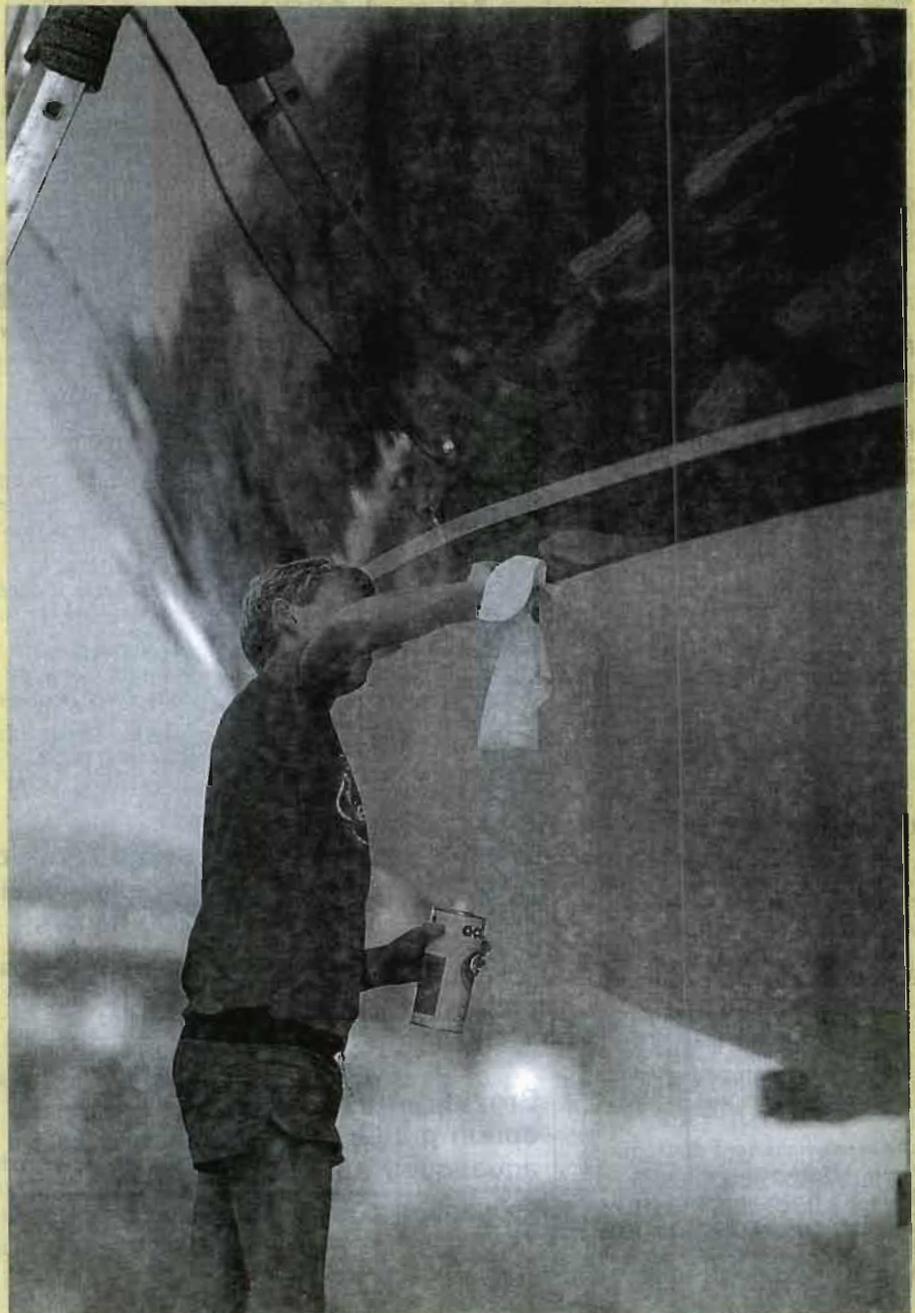


photo: Philip Plisson/Explorer

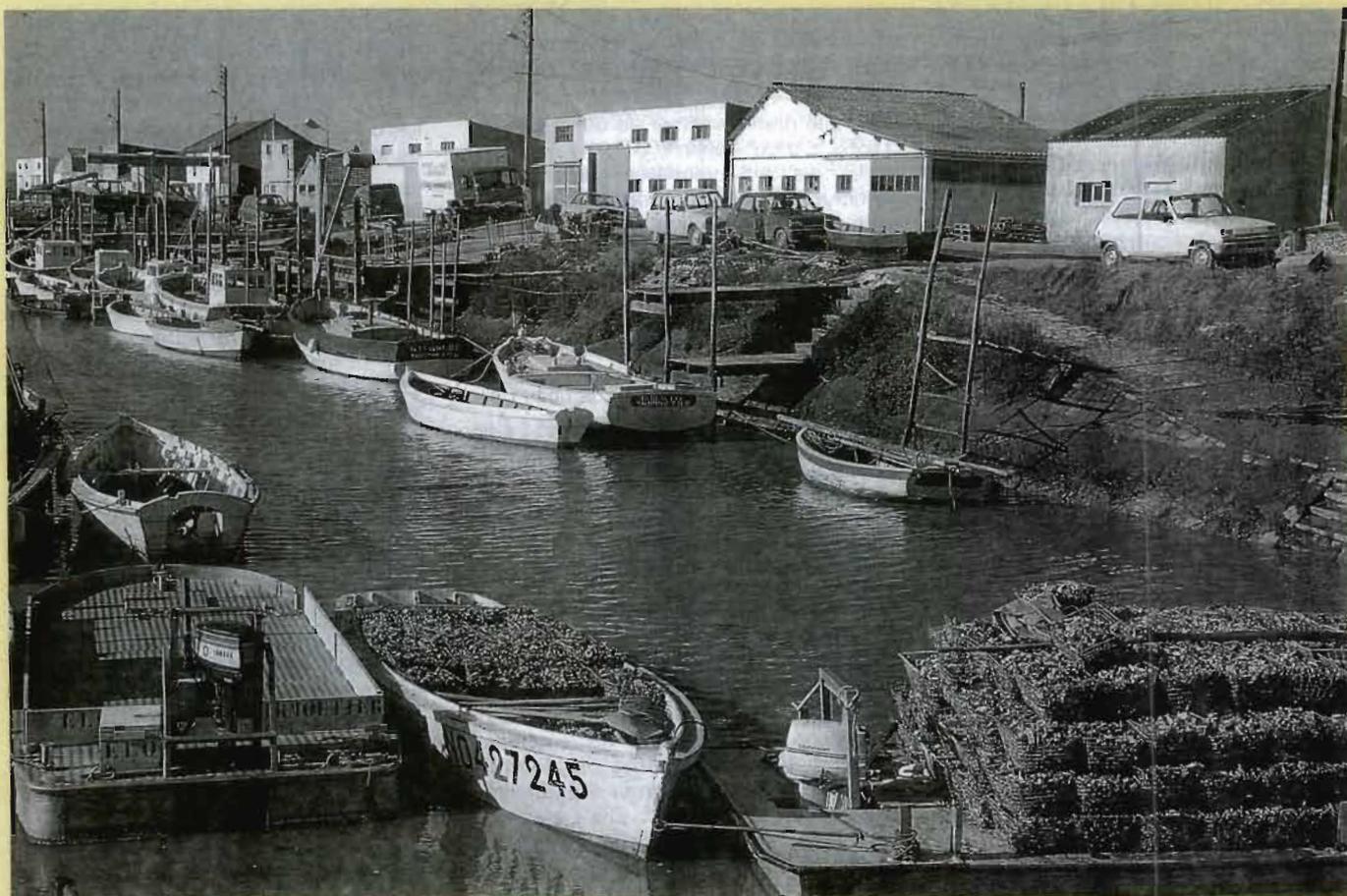


photo Olivier Barbaroux/fremer - Nantes

Port ostréicole à Bouin

Parmi ces organismes, les cirripèdes et plus particulièrement les balanes, ont la réputation d'être très fermement fixés : ils peuvent s'accrocher sur un support se déplaçant à la vitesse de 0,5 nœud. De même les serpules tubicoles, que l'on rencontre fréquemment sur les hélices des bateaux, peuvent adhérer à une surface en mouvement tant que la vitesse n'excède pas 1 nœud.

Les salissures biologiques sont à l'origine d'importants dommages ou entraves aux activités maritimes, en particulier en raison :

- . de la perte de vitesse des navires, estimée dans certains cas entre 0,5 et 1 nœud,
- . de la surconsommation de carburant due à l'augmentation des forces de frottement ; elle peut atteindre 50% pour un navire de commerce dont la coque est souillée sur le tiers de sa superficie,
- . du développement des points de corrosion,
- . de l'augmentation du poids des bouées et des équipements flottants,
- . du rétrécissement des canalisations entraînant une perte de charge impor-

tante lors du pompage et constituant un écran thermique diminuant l'efficacité des échangeurs.

Les dommages causés à l'économie maritime mondiale par les salissures s'élèveraient à 5 milliards de francs par an.

Pour limiter ces effets néfastes, divers procédés ont été étudiés tels que, l'introduction de toxiques (chlore) dans les eaux circulant dans des canalisations, le décrochement des dépôts par ultrasons... La protection des coques de navire est généralement assurée par un revêtement spécial qui par libération de substances toxiques empêche la fixation des organismes. Ce revêtement est appelé peinture antisalissure ou "antifouling".

les peintures antisalissures

Les différentes formulations de peintures antisalissures disponibles sur le marché sont des mélanges complexes constitués de toxiques incorporés dans un liant,

auxquels sont additionnés un solvant qui facilite l'application et divers adjuvants qui assurent la cohésion et la pigmentation du film protecteur.

les matières actives

Les toxiques susceptibles d'être des agents antisalissures efficaces, c'est-à-dire possédant à la fois une action létale à faible concentration pour un grand nombre de végétaux et animaux, et une solubilité convenable en eau de mer, sont peu nombreux.

Les dérivés du mercure et de l'arsenic ont été progressivement abandonnés au profit de l'oxyde cuivreux (Cu_2O). Les produits récents tendent de plus en plus à associer Cu_2O à des agents dont la toxicité est nettement plus élevée ce qui permet d'augmenter la durée de l'efficacité. L'oxyde cuivreux présente toutefois l'inconvénient d'être une cause de corrosion importante lorsqu'il est appliqué sur des coques métalliques.

Les recherches entreprises pour obtenir des peintures non corrosives et efficaces

pendant des durées excédant une année, ont abouti à l'emploi de dérivés organiques de l'étain ou organostanniques. Leur incorporation dans les peintures antisalissures date des années 1970, mais l'utilisation de leurs propriétés fongicides en agriculture et pour la protection des bois, est relativement plus ancienne. Ils sont actuellement l'objet de nombreuses applications industrielles et prophylactiques dont :

- . la stabilisation des matières plastiques halogénées,
- . la catalyse des opérations, de vulcanisation des silicones à température ambiante, de fabrication des polyuréthanes,
- . l'élimination des boues dans l'industrie du papier,
- . la lutte contre les bilharzioses dans les pays tropicaux,
- . la désinfection des locaux (staphylocoques) en association avec le formol et les ammoniums quaternaires,
- . le contrôle du développement des microorganismes dans les stockages souterrains de gaz,
- . la lutte contre l'encrassement des réfrigérateurs à l'eau de mer des centrales électriques en Italie,
- . la lutte contre les salissures des structures immergées et des cages d'élevage aquacole...

La production mondiale d'organostanniques est passée de quelques tonnes en 1950 à 30-35 000 tonnes par an en 1980. Cet accroissement brutal est essentiellement imputable à la découverte de leur activité biocide et des propriétés stabilisantes de diverses molécules pour les chlorures de polyvinyle. La

consommation française serait de l'ordre de 3 000 t/an (1982) : les utilisations non biocides représentent environ 2000 t.

Parmi le grand nombre de dérivés existants, le tributylétain (TBT), qui possède à la fois des propriétés bactéricides, anticryptogamiques et molluscicides, est une excellente matière active contre les salissures biologiques.

les liants

Ils ont pour fonction principale d'assurer à la surface de la carène un film continu à partir duquel les matières actives diffusent dans l'eau. Selon le degré de solubilité du liant dans l'eau, la concentration en matières actives dans la couche d'eau située à proximité de la surface de la coque sera plus ou moins élevée, et l'épuisement du film de peinture plus ou moins rapide.

les adjuvants

Des solvants tels que xylène, white spirit, naphta, sont incorporés aux peintures pour en faciliter l'application. Leur volatilité élevée permet un séchage rapide de la couche déposée et réduit à quelques heures le temps nécessaire avant la remise à l'eau.

Des oxydes de fer, zinc et titane sont également utilisés pour assurer la pigmentation des peintures et faciliter la diffusion de certains éléments toxiques.

Des agents épaississants ou gélifiants peuvent être introduits dans les formulations afin d'en faciliter le conditionnement.

les formulations commerciales

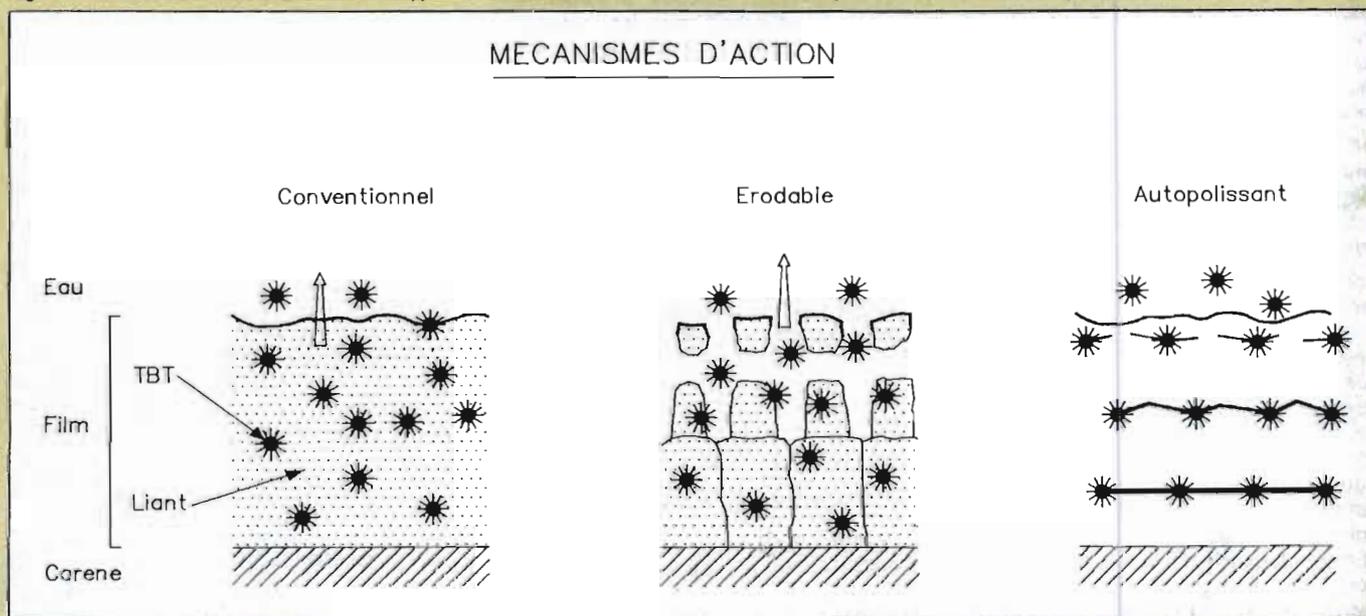
Il existe un grand nombre de formulations commerciales qui se distinguent tant par la nature des matières actives et des liants, que par la composition pondérale de leurs différents constituants.

Les peintures antisalissures agissent en formant à la surface de la coque une barrière toxique constituée par une mince couche d'eau renfermant les matières actives apportées par dissolution, diffusion ou érosion du film protecteur déposé sur la carène. L'efficacité de cette barrière se maintient tant que la concentration en matières actives dépasse le seuil léthal pour les espèces les plus résistantes. Ceci implique un apport constant de toxiques pour empêcher une diminution de la concentration due à la dilution et à la destruction des matières actives par oxydation ou divers autres processus de dégradation. La quantité de matière active restituée quotidiennement par unité de surface de film de peinture, appelée taux de lixiviation, détermine l'efficacité de la peinture.

On estime généralement que le taux de lixiviation exprimé en μg de matière active relarguée par cm^2 de surface de peinture par jour doit être égal ou supérieur à 1 pour les peintures à base de TBT et 10 pour celles à base d'oxyde de cuivre (Cu_2O) pour empêcher la fixation des balanes. Néanmoins, l'oxyde de cuivre n'empêche la formation du "voile gras" (bactéries, diatomées) préalable à toutes incrustations que si le taux de lixiviation est supérieur à $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{j}$.

La longévité des films est donc fonction de la quantité de toxique contenue dans

Fig. 1 : Schéma montrant les différents types de mécanismes de libération des toxiques contenus dans les peintures marines.



les formulations et de la capacité du liant à assurer un taux de lixiviation aussi voisin que possible du seuil minimal empêchant la fixation des organismes. Dans la pratique, il est très difficile de contrôler suffisamment les phénomènes de diffusion pour parvenir à un tel résultat. Généralement le taux de lixiviation est dès le départ nettement plus élevé que nécessaire, puis devient progressivement insuffisant, nécessitant le renouvellement du film antisalissure. La recherche de peintures plus performantes, c'est-à-dire ayant une longévité de plusieurs années, a donc consisté à développer des systèmes de libération des matières actives qui assurent un taux de lixiviation constant et le plus proche possible du seuil minimal.

On distingue actuellement trois systèmes de peintures antisalissures (fig. 1).

les peintures conventionnelles

Ces peintures une fois appliquées constituent un film insoluble (résines) dans lequel se trouvent dispersées des molécules de matière active qui migrent vers la surface par des pores microscopiques. Le taux de lixiviation est très élevé pendant le premier mois suivant l'application, puis diminue rapidement. Ceci présente le double inconvénient d'une diffusion excessive de toxique lorsque le film est récent et de l'immobilisation d'une fraction importante de matière active dans le film résiduel. Ces peintures ont une durée de vie de l'ordre de 1 à 2 ans et sont les plus polluantes pour l'environnement ;

les peintures érodables

Les peintures érodables ont été mises au point en vue d'accroître la longévité en facilitant la migration des biocides depuis les couches profondes du film vers la surface. Le système érodable est constitué par un liant mixte, soluble-insoluble, qui se désagrège au cours du temps sous l'action des forces de frottement de l'eau contre la carène. Ces peintures assurent une protection antisalissure pendant des périodes variant entre un et deux ans.

les peintures autopolissantes

Elles sont constituées par un copolymère de méthacrylate (ou méthylmethacrylate) de tributylétain et connues sous le nom de "Self Polishing Copolymer" (SPC). La substance active est libérée par un mécanisme de saponification du copolymère au contact de l'eau de mer qui renouvelle constamment l'état de surface du film.

Ces systèmes présentent l'avantage de permettre un meilleur contrôle des quantités de TBT relarguées : le taux de lixiviation est plus faible que pour les autres types de peinture et demeure constant à long terme (5 ans).

les effets en zone ostréicole

Les zones ostréicoles occupent traditionnellement les baies, estuaires et lagunes littorales bien abritées qui permettent à la fois une production optimale et le maintien d'installations fixes. Il se trouve que ces mêmes zones présentent des caractéristiques idéales pour le développement des activités nautiques de plaisance : vastes plans d'eau et possibilités d'implantation de structures portuaires ou de mouillages temporaires.

La lutte contre les biosalissures peut conduire à un processus de pollution du milieu marin dans la mesure où elle aboutit à l'introduction de toxiques qui peuvent avoir des effets indésirables sur des organismes autres que ceux des biosalissures. C'est ce qui a été mis en évidence, pour les peintures à base de TBT, dans différents secteurs ostréicoles français à partir de 1982.

les apports en zone ostréicole

Les apports toxiques en zone ostréicole proviennent à la fois des bateaux professionnels et de la flottille plaisancière qui fréquente de façon plus ou moins saisonnière les plans d'eau. Bien que difficiles à évaluer, ces apports ne sont pas négligeables. Ainsi, par exemple, un voilier de 10 m de long rejette journalièrement de l'ordre de 250 µg d'oxyde de cuivre et 25 µg de TBT pour des peintures dont le taux de lixiviation a atteint le seuil efficace.

Une estimation des apports a été réalisée en 1981 pour deux zones conchyliques françaises : Marennes-Oléron et Arcachon (2). Des enquêtes dans les zones concernées ont permis de connaître :

- les quantités de peintures vendues par type de matière active,
- le type de peinture employée par type d'usager (plaisancier, professionnel...),
- les périodes de traitement.

Les calculs effectués pour des périodes déterminées tiennent compte du nombre de bateaux présents dans une zone délimitée et de la variation du taux de lixiviation en fonction de l'ancienneté de la peinture. Le tableau 1 qui résume l'ensemble des données obtenues, fait apparaître des situations très différentes qui sont liées à l'importante fréquentation plaisancière du bassin d'Arcachon durant la période estivale (15 000 bateaux). Les quantités de TBT rejetées annuellement étaient environ dix fois plus élevées dans le bassin d'Arcachon (1,2 t) que dans celui de Marennes-Oléron. En ce qui concernait l'oxyde de cuivre, les apports étaient faibles dans le bassin d'Arcachon (1,6 t) et plus conséquents à Marennes-Oléron (7,5 t) où ils étaient du même ordre de grandeur que les apports annuels en cuivre de la Charente (8 à 9 t).

Un examen détaillé en situation d'hivernage a montré que les apports en TBT dans les ports entourant le bassin d'Arcachon variaient entre 12 g/j (La Hume - 60 bateaux) à 300 g/j (Arcachon - 1 550 bateaux).

Période	Zone	Nombre de bateaux	TBT (kg) jour/période	Cu 2 O
Avril Mai Juin	Marennes-Oléron	700	0,62 / 69,9	Apport annuel Marennes-Oléron
	Arcachon	7 700	7,7 / 639	
Juillet Août	Marennes-Oléron	700	0,3 / 21,3	7,5 tonnes 20 kg/j
	Arcachon	16 000	8,0 / 480	
Septembre à Mars	Marennes-Oléron	700	0,1 / 29,8	Arcachon
	Arcachon	2 100	0,42 / 88,2	

Tabl. 1 : Apports en TBT et Cu 2 O (d'après 2).

En tenant compte du temps de résidence moyen des eaux propre à chaque bassin, ces résultats ont montré que les apports de cuivre et de TBT dus à l'utilisation des peintures antisalissures ne pouvaient être considérés comme négligeables.

les effets sur l'ostréiculture (fig. 2)

C'est dans le bassin d'Arcachon qu'ont d'abord été mis en évidence les effets néfastes du TBT sur la reproduction et la croissance des huîtres. En période estivale plus de 15 000 bateaux de plaisance côtoient les 1 000 hectares de parcs ostréicoles qui produisent actuellement 15 000 tonnes d'huîtres creuses, c'est-à-dire environ 10% de la production nationale (fig. 2). De 1975 à 1982 la production du bassin a été profondément perturbée par l'absence de reproduction et l'apparition d'anomalies de calcification de la coquille chez les adultes.

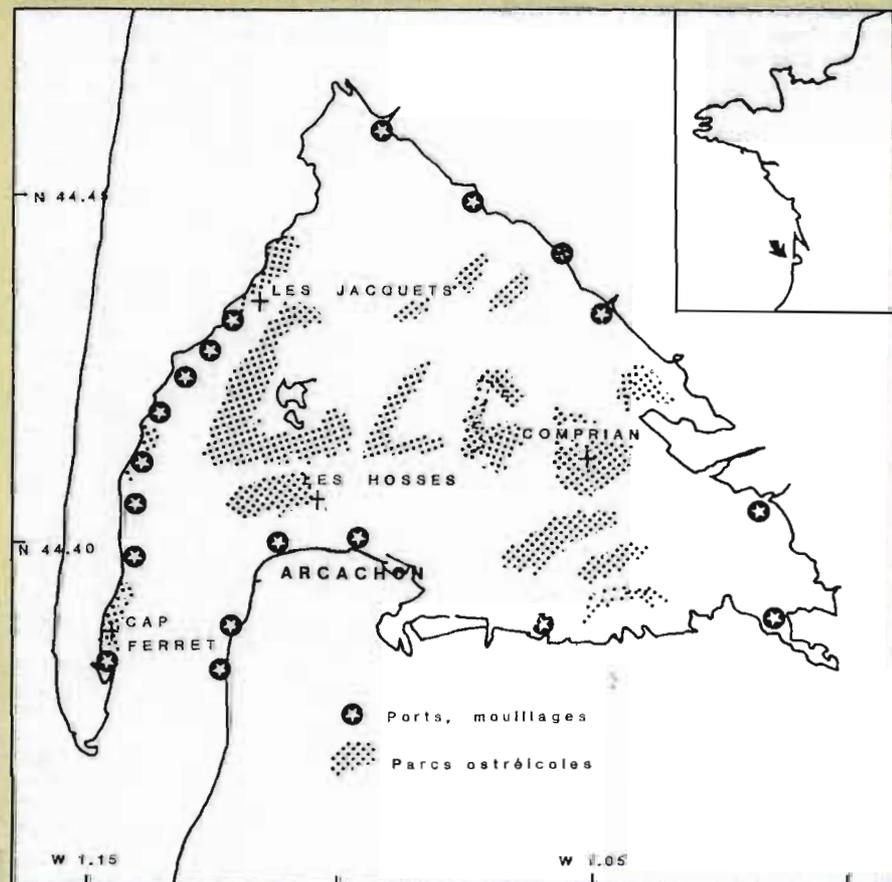
effets sur la reproduction

Chez l'huître creuse *Crassostrea gigas* les produits génitaux émis dans le milieu donnent naissance à des larves qui après

une période de vie pélagique se fixent et forment le naissain qui en se développant donnera des huîtres adultes. Les ostréiculteurs renouvellent les stocks en élevage à partir d'opérations dites de captage du naissain qui consiste à introduire dans les zones d'élevage des matériaux propres (tuiles, tubes de PVC, coquilles Saint-Jacques...) sur lesquels viennent se fixer les larves à la fin de leur vie pélagique.

De 1975 à 1982, le captage du naissain dans le bassin d'Arcachon a été très faible et même inexistant certaines années alors qu'il était satisfaisant dans les zones contiguës de l'estuaire de la Gironde ou dans le bassin de Marennes-Oléron. Les observations montraient que les larves ne survivaient que quelques jours dans les eaux du bassin alors qu'elles avaient un développement normal en eau propre au laboratoire. Les études en laboratoires ont confirmé la très forte toxicité du TBT pour la survie des larves. L'échelle des effets établie par IFREMER ARCACHON montre que le seuil sans effet est de l'ordre de 20 ng/l (3). On remarquera que le seuil sans effet pour le TBT est environ 1 000 fois plus faible que celui admis pour le chlorure cuivrique (25 µg/l).

Fig. 2 : Dans le bassin d'Arcachon, les parcs ostréicoles sont sous l'influence directe des apports des zones de stationnement de bateaux qui les entourent.



« L'examen des données écotoxicologiques chez les mollusques marins montre qu'ils sont extrêmement sensibles à la présence de très faibles concentrations de TBT. Les concentrations à ne pas dépasser pour les espèces sensibles, soit mesurées soit évaluées à partir des données expérimentales, sont parmi les plus faibles actuellement connues :

- 40 ng/l - survie des bivalves adultes à long terme
- 40 ng/l - croissance des juvéniles (2 mois)
- 20 ng/l - embryogénèse et développement larvaire de *C. gigas*
- < 2 ng/l - anomalies de calcification de *C. gigas*
- < 1 ng/l - modification des caractères sexuels (imposex) chez le gastéropode *N. lapillus*

Ces seuils sont comparables aux niveaux de contamination actuellement rencontrés sur les côtes françaises dans les zones d'apport ou au voisinage de celles-ci. Ils peuvent expliquer certains déséquilibres et perturbations constatés dans les élevages de bivalves et la faune sauvage. »

Azlieu Cl. in L'Étain et les organoétains en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie. Rapport scientifique et technique IFREMER à paraître.

Les observations sur le développement larvaire dans les eaux du bassin, ainsi que les analyses d'étain total pratiquées sur les huîtres prises comme indicateurs de contamination, laissent supposer que la contamination des eaux en TBT était suffisante pour expliquer l'absence de captage. Après la réduction des apports en TBT, due à la réglementation sur l'utilisation des peintures en 1982, la reproduction s'est effectuée normalement et le captage est redevenu satisfaisant.

effets sur les mécanismes de calcification

Des anomalies constituées par un feuilletage de la coquille avec formation d'un gel interlamellaire ont été observées pour la première fois en 1974 dans le bassin d'Arcachon puis se sont étendues, à des degrés divers, à la plupart des centres ostréicoles de l'Atlantique. Dans le bassin de Marennes-Oléron le déroulement du phénomène comportait trois phases successives (4) :

- hypersécrétion d'un gel apparaissant brutalement début juillet et de manière synchrone entre les populations d'âge différent,
- dépôt d'une fine couche calcique englobant totalement le gel 15 jours après son



Vue en coupe d'une coquille d'huître malformée montrant la superposition des "chambres" remplies d'un gel translucide.

apparition et formant une poche gélatineuse,
- disparition du gel fin octobre début novembre.

Le développement des poches gélatineuses se traduit par une croissance en épaisseur de la coquille dont la coupe longitudinale fait apparaître une structure feuilletée. Dans la forme la plus aiguë on constate un arrêt de la croissance en longueur et une diminution du volume de la cavité palléale (rétraction du manteau) qui donne aux huîtres l'aspect extérieur d'un boulet. La substance gélatineuse contenue dans les poches a été identifiée comme étant une protéine, qui se différencie de la protéine de calcification (conchyoline).

La mise en évidence du rôle du TBT, dans les anomalies décrites ci-dessus, a été obtenue (5) en plaçant des lots d'huîtres indemnes de malformations dans ;

- un port de plaisance (Boyardville)
- des bacs expérimentaux alimentés en eau de mer par la marée et dans lesquels étaient disposées des plaques enduites d'une peinture à base de TBT.

Des lots témoins étaient disposés d'une part dans des bacs expérimentaux et dans le milieu naturel sur des parcs connus pour être indemnes de malformations (fig. 3). Les observations ont montré que la formation de gel puis de poches gélatineuses se développait de manière concomitante dans le port de Boyardville et les bacs contaminés au TBT, alors qu'elles étaient inexistantes chez les témoins placés dans les bacs expérimentaux et le milieu naturel.

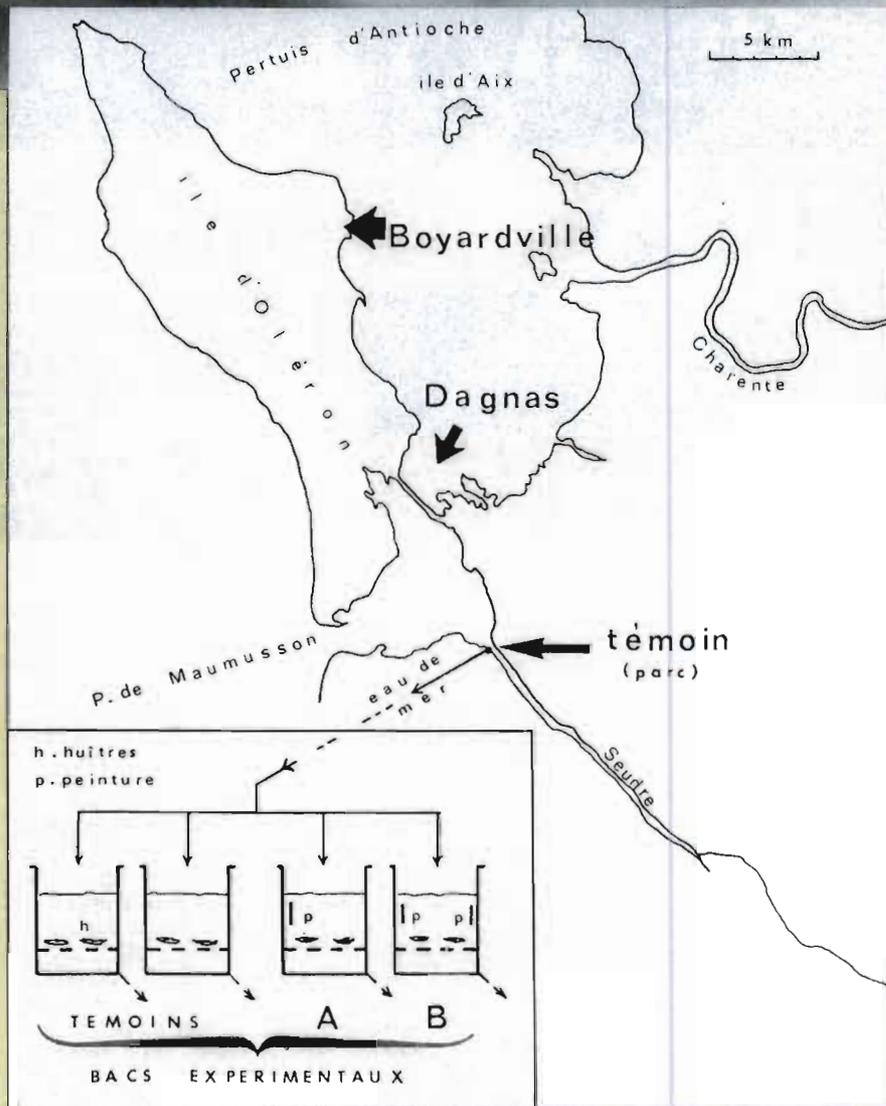


Fig. 3 : Schéma expérimental de mise en évidence des effets du TBT sur la calcification des huîtres : les malformations apparaissent simultanément chez les huîtres placées dans le port de Boyardville et dans les bacs A et B contaminés par du TBT (5).



photo José Dupont/Explorer

Vue du port d'Arcachon

L'influence du TBT sur la calcification de *C. gigas* a été confirmée en Grande Bretagne et aux U.S.A. Des malformations de croissance calcique (arrêt de la croissance en longueur) chez des moules *M. edulis* et *M. californianus* ont été observées dans la baie de San Diego (U.S.A.).

incidences économiques

L'incidence de la pollution des eaux littorales par le TBT sur les ressources économiques liées aux activités ostréicoles est difficilement chiffrable au niveau national. Ceci tient en particulier :

- à la diversité des situations existant entre les différentes zones sur le plan de la contamination en TBT et de la nature de l'activité ostréicole prédominante (captage, demi-élevage, élevage),
- aux échanges permanents existants entre les différents bassins de captage ou d'élevage,

- aux difficultés d'intégrer sur quelques années les fluctuations naturelles des stocks pour apprécier les effets de la pollution sur la production.

Toutefois, à l'échelle du bassin d'Arcachon, où il a été un moment question d'abandonner l'ostréiculture, certains renseignements quantitatifs peuvent être tirés. En ce qui concerne le captage du naissain qui a été inexistant en 1977-1978-1979, une estimation des pertes établies par la profession aboutit à une perte de recettes de l'ordre de **600 millions de francs** (1981). Cette activité concernait environ 1 200 établissements produisant chacun en année normale environ 12 tonnes de naissain dont le prix de vente varie selon les années entre 7 et 20 F le kg.

Quant à la production d'huîtres commerciales, le tableau 2 établi à partir des données fournies par la profession, montre une diminution de l'ordre de 9 000 ton-

nes en 1981 par rapport à 1984, c'est-à-dire trois années après l'adoption de mesures de limitation des apports en TBT. Sur la base d'un prix moyen de 10 F/kg, la perte de recette est de l'ordre de 90 millions de francs (1980).

Année	Production (tonnes)
1979	10 000
1980	6 000
1981	3 000
1982	5 000
1983	8 000
1984	12 000
1985	12 000

Tabl. 2 - Production annuelle d'huître *C. gigas* dans le bassin d'Arcachon (d'après SRC Arcachon).

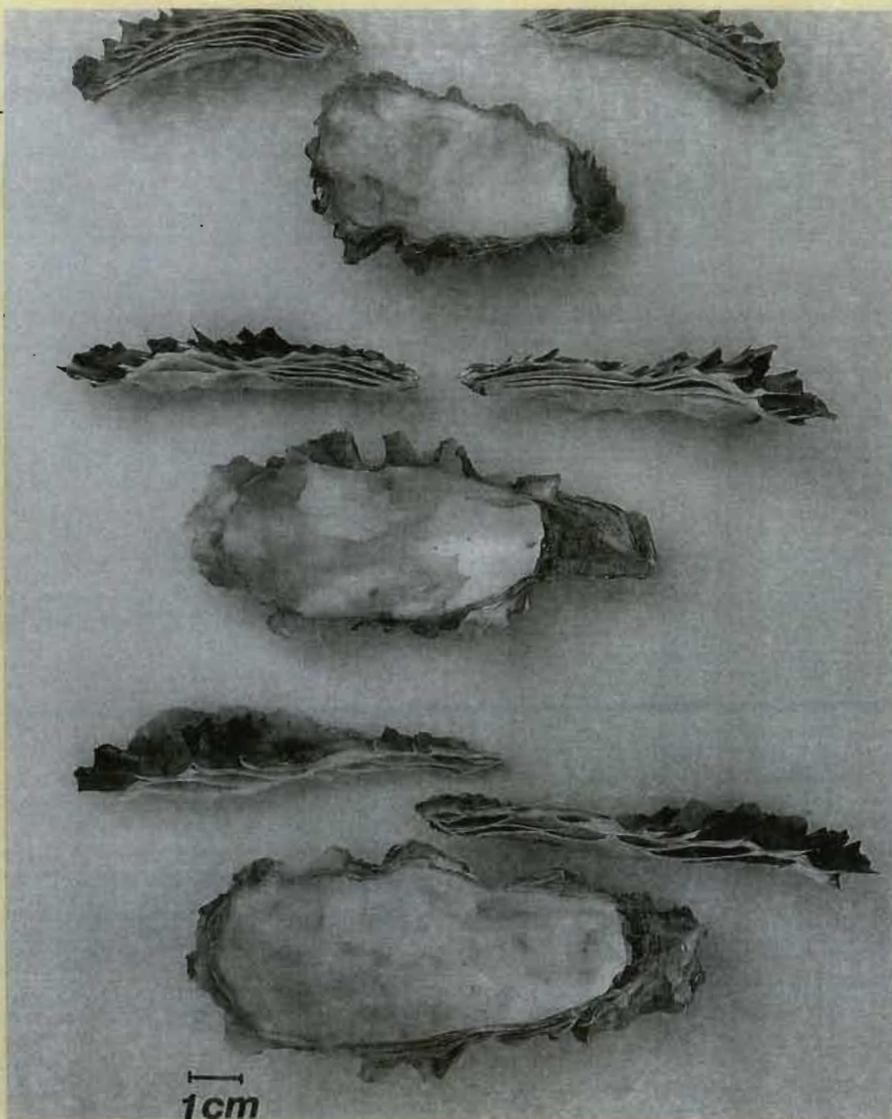


photo C. Alzieu/l'Ifremer - Nantes

La contamination des eaux des ports de plaisance par le TBT limite la croissance et perturbe les mécanismes de calcification des huîtres. La figure ci-dessus montre la différence existant entre la taille et l'importance du chambrage, chez les huîtres *C. gigas* de même âge, prélevées à 1 km (en haut), 1,5 km (au centre) et 2 km (en bas) d'un port de plaisance dont la capacité d'accueil est de l'ordre de 300 bateaux.

Pour les années 1979 à 1983, la perte totale représente 28 000 t correspondant à une valeur de l'ordre de 280 millions de francs (1980).

Cette estimation sommaire montre que de 1977 à 1983 la perte de recettes pour l'ostréiculture arcachonnaise, établie à partir des données de la profession, serait de l'ordre de **880 millions de francs**.

Même s'il est difficile d'imputer aux seuls effets du TBT les variations de production des zones conchyliques, il n'en reste pas moins que l'ordre de grandeur des pertes avancées par la profession est sans rapport avec le marché des peintures à base de TBT estimé à **2 millions de francs** en 1981 (13 tonnes de peinture) pour les seuls besoins de la flottille fréquentant le bassin d'Arcachon.

Ces estimations ne tiennent pas compte d'effets économiques indirects tels que :

- dépréciation de la qualité et de la valeur

marchande ayant entraîné la perte des marchés maîtrisés par les circuits de distribution ; environ 90 % de la production aurait été écoulee par vente directe pendant la période de crise, en raison de la perte de l'image de marque du produit, laquelle ne peut être considérée comme étant actuellement retrouvée,

- diminution des surfaces en élevage et endettement de la profession,
- désaffectation des jeunes ostréiculteurs pour un métier dont la rentabilité était devenue aléatoire,
- incidence sur le tissu économique local du manque à gagner de la profession ostréicole.

Elles suffisent cependant à matérialiser la crise profonde subie par l'ostréiculture arcachonnaise et le danger encouru à plus long terme par les autres bassins. De plus, elles ont largement justifié les mesures réglementaires de limitation d'emploi des organostanniques dans les peintures antisalissures.

situation présente et perspectives

la réglementation

La France a été le premier pays à réglementer l'usage des peintures antisalissures à base d'organostanniques. L'arrêté du Ministre de l'Environnement en date du 19 janvier 1982 interdisait l'emploi de peintures contenant plus de 3 % d'organostanniques pour la protection des coques de bateaux de moins de 25 tonnes de jauge brute dans les départements côtiers depuis la Manche jusqu'aux Pyrénées Atlantiques. Ces dispositions prises pour une durée de trois mois ont été renouvelées puis transformées en décret. A l'heure actuelle le

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

10 octobre 1982

Conditions d'étiquetage des peintures marines antisalissures.

Le ministre de l'environnement,

Vu ensemble la loi n° 77-771 du 12 juillet 1977 sur le contrôle des produits chimiques et son décret d'application n° 79-35 du 15 janvier 1979 sur le contrôle des produits chimiques ;

Vu le décret n° 82-782 du 14 septembre 1982 relatif à l'utilisation des peintures marines antisalissures,

Arrête :

Art. 1^{er}. — Sans préjudice de l'application des dispositions en vigueur relatives à la classification et à l'étiquetage des substances dangereuses, la mention suivante doit être portée, de manière lisible et indélébile, sur l'emballage des peintures marines antisalissures de contenu nominal inférieur à 20 litres et renfermant des composés organostanniques :

« **Attention.** — Il est interdit d'utiliser ce produit pour le recouvrement des coques, autres que celles en alliage léger, des navires et embarcations de longueur inférieure à 25 mètres hors tout. »

Art. 2. — Les dispositions du présent arrêté sont applicables à compter du 1^{er} octobre 1982.

Art. 3. — Le présent arrêté sera publié au *Journal Officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 21 septembre 1982.

Michel CRÉPEAU

décret du 10 mars 1987 modifiant le décret du 12 février 1985 ne prend en compte que les peintures destinées aux bateaux, et stipule que :

Art. 1. - Il est interdit de recouvrir les coques des navires et embarcations, dont la longueur est inférieure à 25 m, de peintures antisalissures contenant des composés organostanniques ;

Art. 2. - Les dispositions ci-dessus ne s'appliquent pas aux embarcations dont la coque est construite en alliage léger.

Il est complété par l'arrêté du 10 octobre 1982 qui fixe les conditions d'étiquetage.

Des réglementations similaires ont été prises en Grande Bretagne (1987), USA (1988), Suède (1989)... Un projet de directive européenne est en cours de préparation sur des bases voisines des dispositions réglementaires françaises et anglaises et prend en compte tous les usages des organostanniques en milieu aquatique : bateaux, aquaculture, structures immergées...

Certains pays ont également interdit l'utilisation de ces mêmes peintures pour le traitement des filets utilisés en aquaculture en raison d'effets toxiques directs sur les poissons d'élevage ou indirect sur les mollusques vivant au voisinage des fermes aquacoles.

évolution de la contamination

La surveillance des teneurs en étain dans les huîtres du bassin d'Arcachon réalisée de 1982 à 1985 a mis en évidence une décroissance de la contamination particulièrement marquée à partir de 1983. Parallèlement, le captage du naissain a été satisfaisant dès 1982 et une amélioration de la qualité de la coquille d'huître était très nette dès le mois d'août 1983.

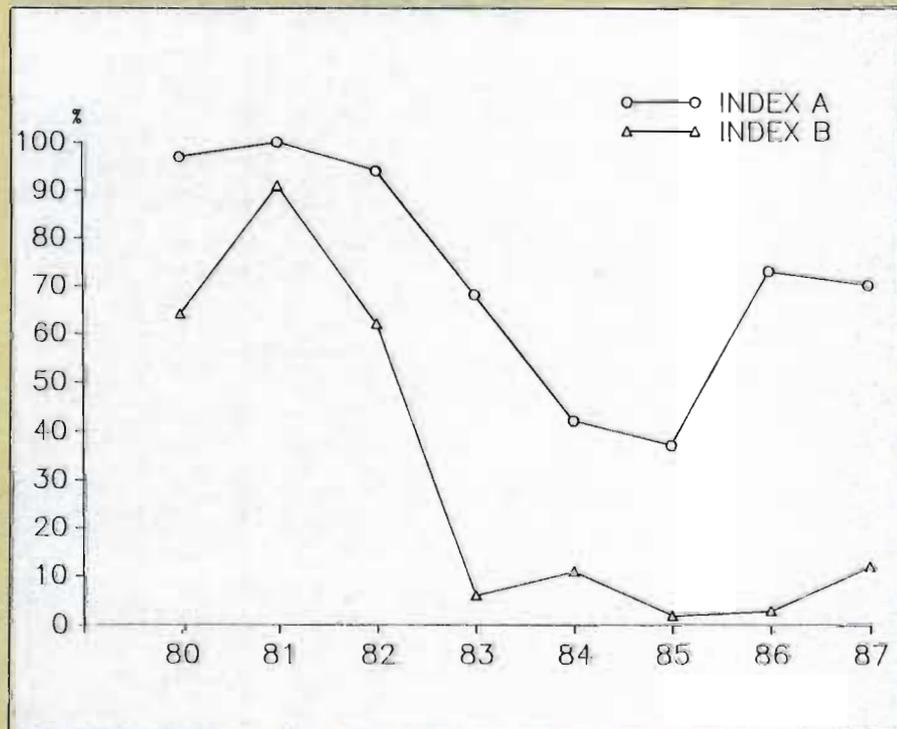
Les mesures de TBT et de ses produits de dégradation dans les eaux à partir de 1985, ont montré que les teneurs en TBT étaient généralement inférieures à 5 ng/l dans les zones conchylicoles de l'Atlantique et de la Méditerranée et comprises entre 10 et 100 ng/l dans les ports de plaisance de l'Atlantique (6).

On remarquera que les teneurs rencontrées dans les zones ostréicoles sont inférieures au seuil sans effet pour la reproduction (20 ng/l) mais parfois suffisantes pour provoquer des anomalies de calcification de la coquille. Ceci est confirmé par la surveillance des taux de malformation (fig. 4) qui montre en 1987 une recrudescence des anomalies imputables au non respect de la réglementation dans certains secteurs.

Fig. 4 : Evolution des index de malformation aigue (A) et subaigue (B) des huîtres à Cap Ferret de 1980 à 1987.

A : malformation sur une seule valve

B : malformation simultanément sur les deux valves.



Par ailleurs, il ne semble pas que le remplacement des peintures à base de TBT par celles à base d'oxyde de cuivre aient provoqué un accroissement des teneurs en cuivre chez les huîtres. Les résultats du Réseau National d'Observation montrent que dans le bassin d'Arcachon, où les apports en cuivre ont été multipliés par 10 à partir de 1982, les niveaux étaient statistiquement comparables pour les périodes 1979-1981 et 1982-1985.

développement de nouvelles peintures

Avant 1982 les peintures à base d'organostanniques et d'oxyde de cuivre se partageaient le marché de la plaisance et des bateaux professionnels de moins de 25 m de long. Du fait des dispositions réglementaires, les peintures à base de cuivre ont constitué quasiment la seule solution possible au remplacement des organostanniques. Toutefois, leur efficacité moindre a fait rechercher à la fois des systèmes plus efficaces et moins toxiques pour l'environnement. Nombre



photo C. Alzieu/Ifremer - Nantes

Vue en coupe d'une coquille d'huître ayant séjourné dans des eaux contaminées par le TBT (malformations de la partie droite) et ayant retrouvé une croissance normale (partie gauche) en milieu non pollué.

d'entre eux sont encore en cours de recherche - développement, mais on peut distinguer deux voies nouvelles :

- systèmes antiadhésifs basés sur les propriétés des téflons ou des silicones,
- systèmes bactéricides empêchant la formation du « voile gras » (bactéries + phytoplancton).

S'ils parvenaient au stade de l'application industrielle, ces systèmes présenteraient l'avantage d'être non polluants pour l'environnement et d'une longévité supérieure aux peintures actuellement disponibles.

conclusions

L'exemple du TBT démontre que la recherche de toxiques de plus en plus efficaces contre les organismes se fixant sur les structures immergées, peut entraîner des effets indésirables lorsque les mécanismes d'action des peintures consistent à diffuser les matières actives dans le milieu. Par leur extrême nocivité pour les mollusques aquatiques les apports de TBT sont en mesure, non

seulement de perturber l'équilibre des écosystèmes côtiers, mais également de réduire la productivité des stocks de mollusques exploités.

Toutes les recherches effectuées depuis une dizaine d'années aboutissent à la conclusion que la concentration de TBT admissible dans les eaux littorales doit être inférieure à 1 ng/l (*) pour garantir la reproduction et la croissance des espèces les plus sensibles (à cette concentration des dérèglements sexuels ont été observés chez les gastéropodes marins). Ceci pose donc un double problème d'ordre réglementaire et technique : interdiction des peintures à base d'organoétains et développement des systèmes de substitution non polluants. La réglementation a montré son efficacité en protégeant les zones sensibles. Le développement d'une peinture efficace, de longue durée d'action et ne libérant pas de substances toxiques pour le milieu aquatique et l'homme demeure un défi à relever.

(*) 1 ng/l = 1 g de TBT dans 1 million de m³ d'eau.

bibliographie

- (1) Catalogue des principales salissures marines. OCDE vol. 1 à 5.
- (2) ALZIEU (Cl.), THIBAUD (Y.), HERAL (M.) et BOUTIER (B), 1980. — Evaluation des risques dus à l'emploi des peintures antisalissures dans les zones conchylicoles. — Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 44, 4 : 305-348.
- (3) HIS (E.) et ROBERT (R.), 1983-1985. — Développement des végétales de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon — Etudes sur les mortalités larvaires. — Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 47, 1-2 : 63-88.
- (4) HERAL (M.), BERTHOME (J.P.), POLANCO TORRES (E.), ALZIEU (Cl.), DESLOU-PAOLI (J.M.), RAZET (D.) et GARNIER (J.), 1981. — Anomalies de croissance de la coquille de *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron. Bilan de trois années d'observation. — CIEM, CM 1981/K : 31.
- (5) ALZIEU (Cl.), HERAL (M.), THIBAUD (Y.), DARIDIGNAC (M.J.) et FEUILLET (M.), 1981. — Influence des peintures antisalissures à base d'organostanniques sur la calcification de la coquille de l'huître *Crassostrea gigas*. — Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 45, 2 : 101-116.
- (6) ALZIEU (Cl.), SANJUAN (J.), MICHEL (P.), BOREL (M.) et DRENO (J.P.). — Butyltins in Atlantic coastal waters : monitoring and assessment. — Marine Pollution Bulletin. A paraître.