

L'évolution des conditions physiologiques de *Crassostrea rhizophorae* en fonction des niveaux de bioaccumulation et du gradient de pollution

Pollution related differences in the physiological conditions of Crassostrea rhizophorae

JOCELYNE PELLERIN-MASSICOTTE

*Université du Québec, Centre océanographique de Rimouski
310 allée des Ursulines, Rimouski, QC, Canada G5L 3A1*

Résumé

L'huître des palétuviers, *Crassostrea rhizophorae* a été choisie comme indicateur biologique de la santé d'un écosystème tropical. Elle est fortement contaminée au zinc et au plomb du nord au sud de la baie de Fort-de-France. Des teneurs importantes en pesticides, tels le DDE, le DDT et le Mirex ainsi qu'en BPC sont retrouvées surtout dans le nord et dans un site du sud de la baie, caractérisés par des activités industrielles et des effluents agricoles. La condition physiologique de l'huître est variable selon les sites mais fortement déficiente dans le sud de la baie près du canal Château-Lézards, site où les teneurs en zinc sont potentiellement toxiques et qui semble plus fragile à cause des variations de salinité et d'éléments nutritifs en saison des pluies. Les sédiments étant fortement contaminés par les métaux lourds partout dans la baie, nous croyons donc que la contamination proviendrait en partie de cette source et également des rivières entraînant les polluants des sites agricoles vers la baie de Fort-de-France.

Mots-clés : Mangrove, indices de condition, huîtres, pollution, écotoxicologie.

Abstract

Informations gathered in the mangrove of the Fort-de-France bay of Martinique (FWI) showed a decreased physiological condition of *Crassostrea rhizophorae* in the south part of the bay explained by the presence of zinc and by physico-chemical parameters modified in the wet season, such as decreased salinity and decreased levels of nutrients. Bioaccumulation of zinc, lead and cadmium was highly correlated to sediment contamination. Contamination by pesticides and organochlorides was found mainly in oysters from the North part of the bay, characterized by industrial activities and agricultural inputs.

Keywords: Mangrove, condition indices, oysters, pollution, ecotoxicology.

INTRODUCTION

Les écosystèmes mangroviens occupent plus de 23 millions d'hectares du littoral tropical, ils ont une grande valeur écologique mais sont actuellement sujets à de multiples pressions dues à la pollution et l'urbanisation (Snedeker, 1982). La région des Caraïbes en est un exemple et il était dès lors important de développer une méthodologie d'évaluation de la santé de cet écosystème. Les

mesures des conditions physiologiques sont reconnues comme appropriées pour évaluer la santé des bivalves et coquillages (Roper *et al.*, 1991 ; Pellerin-Massicotte *et al.*, 1989 ; Bayne *et al.*, 1985 ; Phillips, 1980). Dans cette optique, nous avons opté pour l'étude de l'évolution de la condition physiologique d'une huître croissant sur les racines de palétuviers, en fonction d'un gradient de pollution. La condition physiologique a été évaluée à l'aide d'indices biologiques et biochimiques et fut considérée comme facteur déterminant de l'efficacité d'une purification.

Matériel et méthodes

La partie est de la baie de Fort-de-France (figure 1) est caractérisée par un gradient de pollution des sédiments qui décroît du nord au sud (Pons *et al.*, 1988) et elle est alimentée en tous ses points par des rivières traversant des sites urbains et agricoles. *Crassostrea rhizophorae* est une huître croissant sur les racines des

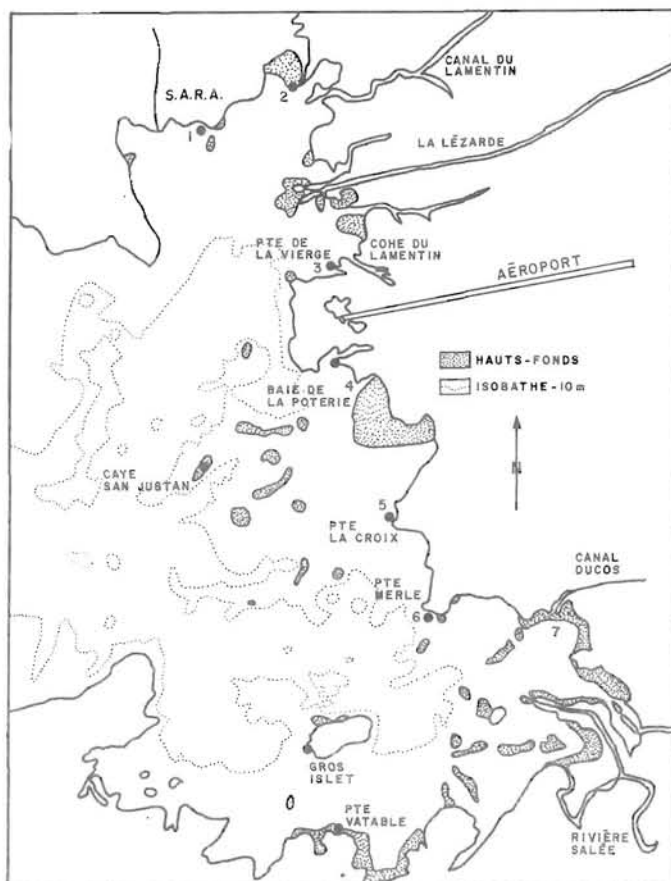


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage de *Crassostrea rhizophorae* dans la baie de Fort-de-France, Martinique, Antilles françaises

palétuviers formant la mangrove, bordant la frange littorale. Les échantillonnages de *Crassostrea rhizophorae* ont été réalisés à l'occasion de deux saisons sèches et une saison humide, soit, en mars 1989, mars 1990 et novembre 1990. Sept zones principales d'échantillonnage ont été choisies selon le gradient de pollution préalablement établi par Castaing *et al.*, 1986. La condition physiologique des huîtres était estimée par la comparaison entre sites, intra-saison et inter-saison pour chaque site, des poids des tissus, des réserves métaboliques constituées de protéines (Bradford, 1976), glycogène (Carr et Neff, 1984), glucose, polysaccharides totaux (Dubois *et al.*, 1956) et lipides (Frings *et al.*, 1972).

Analyses des micro-polluants

Les échantillonnages pour déterminer le niveau de contamination des huîtres ont été réalisés en mars 1990. Des aliquotes de chacun des homogénats étaient gardés à -20°C dans des contenants de plastique pour l'analyse des métaux lourds (Schulz *et al.*, 1989) et de verre pour l'analyse des contaminants organiques (Hatch et Ott, 1968). La méthode utilisée pour l'analyse du zinc, cadmium et le plomb dans les poissons et les invertébrés de la Martinique est dérivée de la méthode décrite par Nadeau *et al.*, 1984. Les étapes sont les suivantes :

1. Séchage et combustion : l'homogénat est pesé dans un creuset de porcelaine et séché au four pendant 24 heures à 100°C . L'homogénat est de nouveau pesé et placé au four à 450°C pour au moins 48 heures.

2. Digestion et filtration : 1 ml d'acide nitrique concentré puis 5 ml d'eau nanopure sont ajoutés aux cendres. Le tout est porté à une légère ébullition pour 10 minutes sur une plaque chauffante. La solution est par la suite filtrée sur un verre fritté grade F ; le creuset est rincé avec 3 fois 1 ml d'eau nanopure. Les solutions sont prêtes à être analysées et doivent être conservées au congélateur dans des vials de 8 ml en verre avec un bouchon en Téflon.

3. Analyse par ICP : Le plomb, le zinc et le cadmium sont analysés en même temps, par plasma induit d'argon, qui est essentiellement une méthode d'analyse par émission spectroscopique. Cet appareil permet l'analyse simultanée de plusieurs éléments en milieu aqueux filtré. Une fiche de validation pour chacun des éléments est d'abord générée avec les standards appropriés, l'ordinateur calcule les courbes de validation et en déduit la concentration de chaque élément pour chacun des échantillons.

Les acides utilisés étaient de type « Intra-analyzed » de J.T. Baker, N.J., USA. Les standards de Zn, Pb, Cd étaient de Fisher Scientific, Co, NJ, USA. Le spectromètre d'émission ICP était de marque « Perkin-Elmer Plasma 40 Emission Spectrometer ». Les longueurs d'onde de détection utilisées étaient les suivantes : Zn 213,856 ; Cd 228,802 ; Pb 220,353. Les limites de détection en mg/l : Zn 0,002 ; Cd 0,003 ; Pb, 0,10.

Préparation des échantillons pour l'analyse des polluants organiques

Les échantillons étaient conservés congelés jusqu'au jour de l'analyse. Une fois dégelés, un certain nombre d'individus étaient prélevés de façon à obtenir une masse de 100 g d'homogénat. Le poids total des individus ainsi que leur poids sans tête ni queue et leur longueur moyenne étaient notés. Les individus

étaient par la suite placés dans un mélangeur et celui-ci est mis en fonction jusqu'à l'obtention de la meilleure homogénéisation possible. Deux sous-échantillons de l'homogénéat étaient transférés dans des petits flacons de plastique pour l'analyse des métaux, le reste fut mis en pots de verre pour l'analyse des polluants organiques et des lipides.

Extraction des polluants organiques

Environ 40 g d'homogénéat étaient transférés dans un erlenmeyer de 500 ml et environ 80 ml de Na_2SO_4 y étaient ajoutés. A l'aide d'une tige de verre, le mélange était homogénéisé jusqu'à la disparition des agrégats. Une solution d'hexane/acétone (70/30) pour un volume de 100 ml était ajoutée à l'homogénéat et le tout agité vigoureusement pendant 2 minutes. L'erlenmeyer était ensuite placé dans un bain d'ultrasons à 35 °C pendant 10 minutes. L'extrait était récolté et transvidé dans un ballon de 500 ml. L'extraction était reprise deux autres fois avec 100 ml de la solution d'hexane/acétone. Les trois extraits étaient combinés et évaporés sur un Rotovapor jusqu'à environ 10 ml. L'extrait était à nouveau transvidé dans un tube à centrifuger gradué et évaporé sous azote jusqu'à 2,5 ml exactement. Un volume de 0,5 ml était par la suite conservé pour la mesure des lipides.

Analyse des composés organochlorés

La purification de l'extrait pour l'analyse des composés organochlorés fut faite sur une colonne contenant 7 ml de silice activée avec 40 % en poids d'acide sulfurique plus 1 cm de silice pure et 1 cm de Na_2SO_4 . Un volume de 45 ml d'hexane était utilisé pour nettoyer la colonne. Ensuite 1 ml d'extrait était déposé en tête de colonne et la première fraction contenant les BPC, les DDT et les chlordanes ainsi que le Mirex était éluée avec 45 ml d'hexane. Une deuxième fraction contenant les autres pesticides était obtenue en éluant la colonne avec 50 ml d'hexane/dichlorométhane (75/25). Les deux fractions étaient ensuite concentrées au Rotovapor et sous azote jusqu'à un volume de 0,5 ml. Ces deux fractions étaient ensuite analysées par chromatographie en phase gazeuse avec un détecteur à capture d'électrons. L'identification fut réalisée en comparant les temps de rétention des standards avec ceux de l'échantillon. La quantification fut faite à partir des facteurs de réponse établis pour chacun des composés. Les conditions chromatographiques étant les suivantes :

Appareil : Varian 3300

Injecteur : Splitless 300 °C

Colonne : DB5 60 m : 100 °C- 150 °C (10 °C par mn.)
150 °C- 300 °C (3 °C par mn.)

Détecteur : ECD 300 °C.

Analyse des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques

La purification de l'extrait pour l'analyse des hydrocarbures fut réalisée sur une colonne de silice activée à 225 °C pendant 24 heures et désactivée avec 5 % d'eau. Cette colonne de 20 cm était montée en hexane et 1 cm de Na_2SO_4 était ajouté en tête de colonne. L'éluion d'une première fraction avec 25 ml d'hexane permet d'obtenir les hydrocarbures aliphatiques. Une deuxième frac-

tion contenant les hydrocarbures polyaromatiques est obtenue en éluant cette colonne avec 30 ml d'un mélange d'hexane/dichlorométhane (75/25). Les deux fractions sont concentrées au Rotovapor et sous azote jusqu'à 0,5 ml. L'identification et la quantification se font par chromatographie en phase gazeuse sur une colonne DB5 de 30 m et un détecteur FID. Les conditions chromatographiques sont les suivantes :

Appareil : Varian 3400
 Injecteur : SPI 40 °C - 300 °C (180 °C/mn)
 Four : 50 °C- 300 °C (5 °C par mn.)
 Détecteur : FID 320 °C.

Les concentrations de chacun des composés étaient calculées à partir des facteurs de réponse de chacun des composés.

Analyse du mercure chez les organismes marins

Environ 10 g d'homogénéat étaient pesés dans un ballon de 125 ml dans lequel étaient ajoutés 20 ml d'un mélange d'acide sulfurique/nitrique (1:1). Le ballon était bouché et l'échantillon laissé à digérer à la température de la pièce toute la nuit. La digestion était complétée le lendemain à 60 °C pendant 1,5 heure. Les échantillons étaient par la suite refroidis dans un bain de glace, 35 ml d'une solution de permanganate (KMnO_4 à 6 %) étaient par la suite ajoutés tout en agitant. Les échantillons étaient placés à l'obscurité pour 3 heures. L'excès de permanganate était neutralisé ensuite avec du peroxyde d'hydrogène avant d'ajouter à chaque échantillon 1 ml d'hydroxylamine hydrochlorique à 20 % et 2 ml d'alcool isoamylique. L'addition de 2 ml de chlorure d'étain à 20 % dans 20 % d'acide sulfurique transforme le mercure en HgO . L'appareil utilisé pour la mesure était un spectrophotomètre Fisher Hg-3 et la limite de détection est de 0,75 ng/g.

Analyses statistiques

La normalité de la distribution des données et l'homogénéité des variances ont été vérifiées par les tests de Kolmogorov-Smirnov et de Bartlett. Les relations entre les niveaux de bioaccumulation, les poids des tissus et les teneurs en réserves énergétiques ont été établies par une analyse de corrélation de Pearson, pour un seuil de signification $p < 0,05$ se rapportant à un test unilatéral. Les tests t de Student ou de Mann-Whitney furent utilisés, pour établir les différences entre les moyennes.

Résultats

La contamination de *Crassostrea rhizophorae* par les métaux lourds (tableau I), est générale du nord au sud de la Baie de Fort-de-France. Les teneurs en zinc, cadmium et plomb sont plus importantes près de la raffinerie au nord de la baie et aux sites Lareithy, Lézards, Ducos, et Rivière Pierre. Les teneurs en mercure sont peu importantes et ne sont liées statistiquement qu'aux teneurs en zinc. Les plus fortes teneurs en organochlorés (tableau II), ont été retrouvées dans les huîtres échantillonnées au nord de la baie.

Les poids secs de chair de *Crassostrea rhizophorae* étaient inférieurs au sud de la baie (Lézards et Ducos) pour tous les points d'échantillonnage, que ce soit

Tableau I : Bioaccumulation des métaux lourds chez *Crassostrea rhizophorae* échantillonnée dans sept sites de la baie de Fort-de-France, Martinique

Site	N° du site	Hg ng/g	Zn µg/g	Cd µg/g	Pb µg/g
Raffinerie	1	n.d.	54,33 ± 7,65	0,33 ± 0,05	31,66 ± 3,87
Lamentin	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Can. Lamentin	3	4,71 ± 6,45	10,66 ± 1,21	0,33 ± 0,08	23,26 ± 2,57
Lareithy	6	40,15 ± 2,35	86,33 ± 10,25	0,33 ± 0,04	30,86 ± 3,46
Dore	7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lézards	8	86,45 ± 10,52	92,20 ± 11,43	0,27 ± 0,034	27,80 ± 3,54
Ducos	9	13,32 ± 1,09	55,86 ± 6,23	0,20 ± 0,03	24,73 ± 2,84
Riv. Pierre	10	4,78 ± 4,31	49,06 ± 5,53	0,20 ± 0,04	22,66 ± 3,52

Les teneurs sont exprimées en ng ou µg par g de poids sec des tissus mous ± l'écart-type des mesures réalisées en duplicata. Les valeurs sous le seuil de détection sont identifiées par n.d. (non détectable).

en mars 1989, 1990 ou en novembre 1990. En novembre 1990, au sud (Lézards, Ducos et Rivière Pierre), les poids du manteau et de la glande digestive chez *Crassostrea rhizophorae* étaient significativement inférieurs à ceux observés pour les huîtres des autres sites.

Les teneurs en lipides étaient élevées en mars 1989 (figure 2) dans tous les sites sauf près de la raffinerie au nord, pour ensuite se situer près des limites de détection de la méthode analytique en mars 1990 (figure 3). En novembre 1990, les teneurs en lipides du manteau et de la glande digestive revenaient à des teneurs plus élevées au nord de la baie (figure 3). Les concentrations en protéines (figure 4) dans la glande digestive de *Crassostrea rhizophorae* étaient corrélées négativement mais de façon non statistiquement significative, avec le mercure, le cadmium et le plomb. Par contre, les organochlorés (nonachlorés et BPC) ont un lien fortement positif (coeff. corr. = 0,730, n = 17, p < 0,001) ainsi que le cadmium et les BPC (coeff. corr. = 0,849, n = 17, p < 0,001). Sans être

Tableau II : Bioaccumulation des pesticides chez *Crassostrea rhizophorae*

Site	N° du site	BPC µg/g	T-NONAC µg/g	DDE µg/g	DDD µg/g	DDT µg/g	MIREX µg/g
Raffinerie	1	0,61 ± 0,07	0,01 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Lamentin	2	0,93 ± 0,11	0,01 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Can. Lamentin	3	0,56 ± 0,05	0,01 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Lareithy	6	0,66 ± 0,08	n.d.	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Dore	7	0,06 ± 0,01	n.d.	0,02 ± 0,01	n.d.	0,01 ± 0,01	n.d.
Lézards	8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ducos	9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Riv. Pierre	10	0,66 ± 0,04	n.d.	0,04 ± 0,01	n.d.	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01

Les teneurs sont exprimées en µg par g de lipides ± l'écart-type des mesures réalisées en duplicata. Les valeurs sous la limite de détection sont identifiées par n.d. (non détectable).

statistiquement corrélés, les valeurs des organochlorés et les concentrations en protéines du manteau au mois de mars 1990 sont inversement proportionnelles. En novembre 1990, les teneurs en DDE sont également reliées inversement avec les teneurs en protéines du manteau (coeff. corr. = 0,788, $n = 8$, $p < 0,05$) et de la glande digestive (coeff. corr. = 0,836, $n = 8$, $p < 0,05$). Les teneurs en protéines sont variables d'une saison à l'autre avec une tendance générale à la hausse de mars 1989 à novembre 1990. Les teneurs dans le manteau fluctuent cependant moins que les teneurs de la glande digestive.

Le glycogène montre des différences significatives intra-site d'une saison à l'autre et inter-sites lors du même échantillonnage (figure 5). Les concentrations en mars 1989 et mars 1990 sont significativement inférieures à celles retrouvées en novembre 1990, pour les deux tissus analysés. Toutefois, des teneurs significativement inférieures aux autres sites ont été retrouvées en novembre 1990 dans la glande digestive des huîtres des sites Lézards, Ducos et Rivière Pierre du sud de la baie. Des corrélations non statistiquement significatives mais fortes ont été trouvées entre les teneurs en glycogène du manteau et de la glande digestive en mars 1990 et les teneurs en organochlorés.

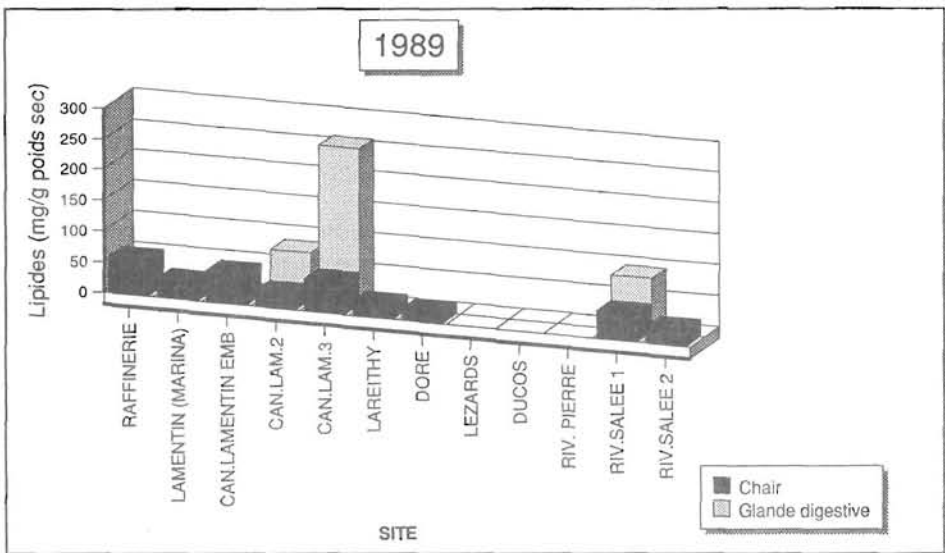


Figure 2 : Illustration des variations des concentrations de lipides dans la chair totale et la glande digestive de *Crassostrea rhizophorae* en mars 1989

Note commune aux figures, 2, 3, 4, 5.

Les sites, placés sur l'axe des X, correspondent du nord au sud de la baie aux endroits suivants : (1) Raffinerie ; (2) marina près du canal Lamentin ; (3) embouchure du canal Lamentin ; (4) 200 m de l'embouchure du canal Lamentin vers l'intérieur de la mangrove, à l'endroit connu comme le Miroir aux Chasseurs ; (5) 500 m de l'embouchure du canal Lamentin, à la limite de la salinité et de l'eau douce ; (6) site sur le versant nord du littoral près de l'aéroport ; (7) zone médiane de la baie, près du Morne Doré ; (8) canal du Château Lézards ; (9) proximité du canal Ducos ; (10) Rivière Pierre ; (11) à l'embouchure de la Rivière Salée ; (12) au sud de la Rivière Salée. Les concentrations sont exprimées en mg/g de poids sec de chair totale ou de tissu. Les analyses ont été réalisées sur 10 individus homogénéisés en un tout et dont les réplicats de méthode analytique ne dépassaient pas 10 % de variation.

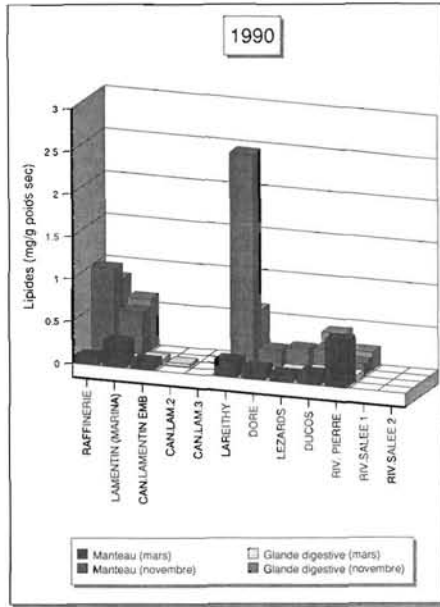


Figure 3 : Illustration des variations des concentrations de lipides dans le manteau et la glande digestive de *Crassostrea rhizophorae* en mars 1990 et novembre 1990

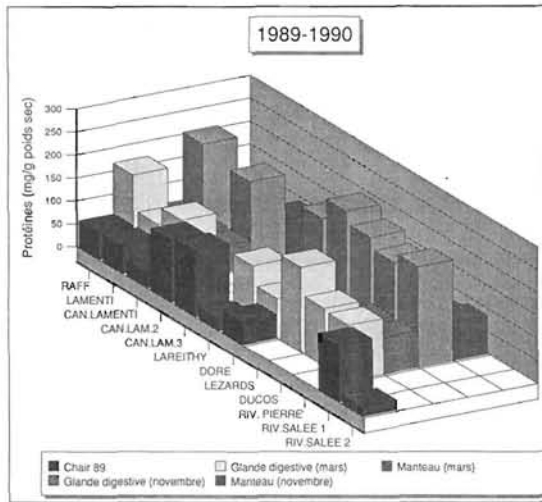


Figure 4 : Illustration des variations des concentrations de protéines dans la chair totale de *Crassostrea rhizophorae* en mars 1989 et dans le manteau et la glande digestive en mars 1990 et novembre 1990

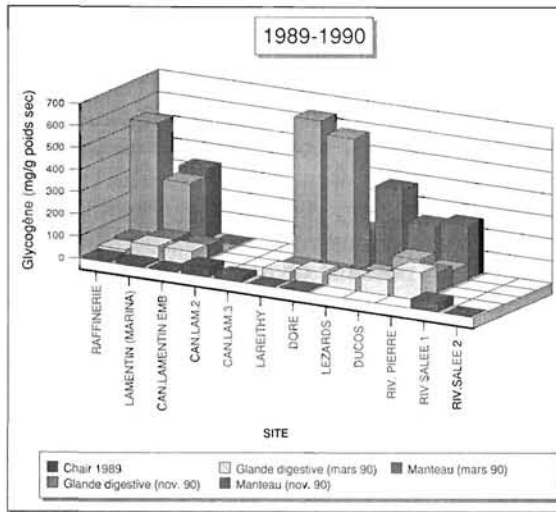


Figure 5 : Illustration des variations des concentrations de glycogène dans la chair totale de *Crassostrea rhizophorae* en mars 1989 et dans le manteau et la glande digestive en mars 1990 et novembre 1990

Discussion

Les niveaux de contamination de *Crassostrea rhizophorae* (tableaux 1 et 2) par les pesticides et les métaux lourds, peuvent être mis en relation étroite avec les travaux de Pons *et al.*, 1988. Le trappage des métaux par les sédiments riches en silt et argile, et la remise en suspension expliquée par l'hydrodynamique locale, expliquent les niveaux de bioaccumulation retrouvés dans presque tous les sites de la baie. Au sud de la baie, les phénomènes d'hypersédimentation résultant de l'érosion des bassins versants des grandes rivières engendrent une turbidité accrue à mesure que les pressions anthropiques se font plus fortes et il est plausible que le taux élevé de matières organique et inorganique dans l'eau interfère avec l'alimentation des bivalves et par conséquent la croissance ultérieure (Bernard, 1983 ; Tremblay *et al.*, 1992). Des débits importants d'eau douce apportés par les rivières viennent en plus modifier les paramètres physico-chimiques de l'eau et les conditions de croissance et de reproduction de l'huître (Brown, 1988). En fait, les poids secs de chair étant inférieurs pour tous les sites du sud de la baie, les teneurs totales en réserves énergétiques sont toujours plus faibles pour ces huîtres. La bioaccumulation des organochlorés se retrouve dans les sites du nord de la baie, ce qui reflète bien le niveau d'activités industrielles. Si l'on relie les teneurs en micro-polluants retrouvés chez les huîtres avec leur potentiel toxique (Verschuere, 1983), il est possible de dire que les teneurs en zinc représentent un état de bioaccumulation chronique et ne constituent pas de danger pour cet organisme à court terme, mais peuvent diminuer l'effort de croissance et de reproduction, particulière-

ment à un site plus complexe comme à Lézards. Le seuil de toxicité du zinc pour les bivalves se situe à environ 210 $\mu\text{g/g}$ poids sec. Les autres métaux analysés ont des valeurs se retrouvant au-dessus des niveaux de base mais sous les seuils de toxicité. Les teneurs en DDD, DDE et DDT sont comparables à celles retrouvées en Méditerranée chez les bivalves et constituent un niveau de base acceptable. Les BPC, sauf aux sites Morne Doré, Lézards et Ducos, sont cependant à des niveaux près des valeurs toxiques retrouvées chez les bivalves (0,60-0,66 $\mu\text{g/g}$ de poids sec) compte tenu que les valeurs montrées au tableau II sont exprimées en $\mu\text{g/g}$ lipides. Les niveaux de toxicité du Mirex étant de l'ordre du ng/g pour les crevettes, il est possible de dire que les teneurs mesurées dans les huîtres sont au seuil de la toxicité aiguë et pourraient expliquer en partie la faible biomasse.

CONCLUSION

Cette étude démontre que la condition physiologique de *Crassostrea rhizophorae* est affectée par les conditions environnementales naturelles présentes dans la baie de Fort-de-France. La charge de polluants est importante et les organismes présents dans ce milieu relativement fermé sont soumis à une pollution de type chronique qui entraîne des conséquences pour les pêcheries commerciales et artisanales dans la baie.

REFERENCES

- Bayne, B.L. *et al.*, 1985. The effects of stress and pollution on marine animals. *Praeger Scientific*, New York.
- Bernard, R.F., 1983. Physiology and the mariculture of some northeastern Pacific bivalve molluscs. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **63**, 222-245.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, **72**, 248-254.
- Brown, J.R., 1988. Multivariate analysis of the role of environmental factors in seasonal and site-related growth variation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **45**, 225-236.
- Carr, R.S. and J.M. Neff, 1984. Quantitative semi-automated enzymatic assay for tissue glycogen. *Comp. Biochem. Physiol.*, **77B**, 447-449.
- Castaing, P., A. De Resseguier, C. Julius, M. Parra, J.-C. Pons, M. Pujos, O. Weber, 1986. Qualité des eaux et des sédiments de la baie de Fort-de-France (Martinique). Rapport Numéro 84.L.0896, *Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine*, Action Concertée CORDET.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* **28**, 350-356.
- Frings, C.S., T.W. Fendley, R.T. Dunn, C.A. Queen., 1972. Improved determination of total serum lipids by the sulfo-phospho-vanillin reaction. *Clin. Chem.*, **18**, 673-674.
- Hatch, W.R., L.W. Ott, 1968. Determination of submicrogram quantities of mercury by atomic absorption spectrophotometry. *Anal. Chem.*, **40**, 2085-2087.
- Pellerin-Massicotte J., J. Pelletier, M. Paquet, 1989. Cellular and biochemical indicators assessing the quality of a marine environment. *Hydrobiologia*, **188/189**, 587-594.

- Pons, J.-C., M. Parra, C. Julius, 1988. Teneurs en métaux lourds des sédiments fins de la baie de Fort-de-France, Martinique, Petites Antilles françaises. *Oceanologica Acta*, **11**, 47-54.
- Roper, D.S., R.D. Pridmore, V.J. Cummings, J.E. Hewitt, 1991. Pollution related differences in the condition cycles of Pacific oysters *Crassostrea gigas* from Manukau Harbour, New Zealand. *Mar. Env. Res.*, **31**, 197-214.
- Schulz, D.E., G. Petrick, J.C. Duinker, 1989. Complete characterization of polychlorinated biphenyl congeners in commercial Aroclor and Clophen mixtures by multidimensional gas chromatography-Electron capture detection. *Environ. Sci. Technol.*, **23**, 852-859.
- Snedeker, S.C., 1982. Mangroves: planning, pollution and productivity. *Atlantica* **5**, 133.
- Tremblay, R., J. Pellerin-Massicotte, B. Vincent, E. Hudier, 1992. Effects of natural environmental factors on the lysosomal membrane stability in *Mya arenaria* and *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* submitted.
- Verschuere, K., 1983. Handbook of environmental data on organic chemicals. *Van Nostrand Reinhold Company*. Melbourne, Australia, 789 p.