

PROBLEMES DE CALCIFICATION CHEZ *PECTEN MAXIMUS* EN RADE DE BREST.

SCALLOP (*PECTEN MAXIMUS*) CALCIFICATION PROBLEMS IN THE "RADE DE BREST".

Hélène LARVOR (1), Nicole DEVAUCHELLE (1), Jean Pierre CUIF (2)

(1) IFREMER BREST, DRV-A, Laboratoire PMDC, BP 70, F- 29280 PLOUZANE.

(2) Université de Paris XI, Bat 504, Laboratoire de Paléontologie, F- 91405 ORSAY Cédex.

ABSTRACT

Calcification abnormalities linked to the appearance of a brown coloration of the internal shell layer are observed in scallops - *Pecten maximus* - in the "rade de Brest". It is a widespread phenomenon in shallow waters (about 3 to 10 meters) sometimes associated with an important boring parasitism at the ultimate stage of development. This brown color which can generate a decrease of the consumer appraisal does not affect the commercial value of the shellfish (muscle and gonad quality) when it is not too high. When it covers the all shell with a deep brown color the animal shows many signs of weakening.

The color of the internal layer of the valves is due to the presence of a brown pigment - an eumelanin - associated with the insoluble organic matrix of the biocrystals. The appearance of this pigment generates many disturbances of the calcified foliated microstructure of the scallop internal shell layer. Yet, the biomineralization mechanisms, such as those controlling the calcium binding, do not seem to be modified : the mantle structure, the organic and mineral composition of the shell are not very modified in brown shells compared to white shells.

The color abnormalities of the internal shell layer can be detected by a spectral analysis of its reflectance before it can be detected with the naked eyes.

This method correlated to microstructural observations should be very interesting for a rapid and precise analysis of the appearance of the pigmentation on adult or juvenil scallops. It can be therefore a usefull method for the evaluation of the influence of environmental parameters on calcification and its abnormalities. Such an experimental study is realized in our laboratory at the moment.

Key words :

Calcification, Shell, Scallop, *Pecten maximus*, Melanin, Microstructure.

INTRODUCTION.

Les altérations de l'exosquelette des invertébrés marins, carapaces de crustacés ou coquilles de mollusques, sont souvent la manifestation de modifications sensibles de leur milieu de vie. Polluants (métaux, pesticides, TBT) ou pathogènes (bactéries, champignons, algues ou trématodes parasites) peuvent en effet perturber les processus de biominéralisation et générer ainsi des modifications importantes de la structure coquillière. Celles-ci, pouvant aboutir à la mort de l'individu, constituent en tout état de cause un risque de préjudice grave au sein des exploitations conchylicoles : ALZIEU *et al.* (1981) ont mis en évidence la corrélation entre le chambrage des huîtres creuses - *crassostrea gigas* - et l'utilisation des peintures antifouling au tributylétain ; MACHADO *et al.* (1990) ont montré que le diflubenzuron provoque des déformations microstructurales chez l'anodonte - *Anodonta cygnea* ; des infections bactériennes (GOULLETQUER *et al.*, 1989 ; GETCHELL, 1991 ; PAILLARD, 1992 ; PAILLARD et MAES, in press) ou parasitaires (BARTOLI, 1976 ; BLAKE et EVANS, 1973), des perturbations écologiques, encore méconnues (MORI, 1975 ; MARIN et DAUPHIN, 1992 ; PALMER, 1980), peuvent avoir pour conséquence le dépôt de membranes organiques brunes à la place des structures coquillières normales, ou une modification de leur coloration interne (JOHANNESSEN, 1973 ; PALMER, 1980 ; PASS *et al.*, 1987 ; PREZANT et CHALERMWAT, 1983).

Des altérations identiques ont été relevées dans le gisement coquillier - *Pecten maximus* - de la rade de Brest par l'IFREMER, et en particulier sur les zones de semis de Pen a lan (DAO, 1991). D'importantes mortalités hivernales et de mauvais résultats de recapture après semis, apparaissent comme étant liés à la présence d'intenses colorations brun-rouge sur la couche interne des valves de coquilles moribondes. Une première étude de caractérisation de ces anomalies de calcification a montré que les processus de biominéralisation, notamment ceux conditionnant la fixation du calcium, n'étaient pas modifiés (DEVAUCHELLE *et al.*, 1993 ; LARVOR *et al.*, 1993), mais que la structure de la coquille était altérée par l'association d'un pigment brun aux enveloppes insolubles des cristaux de calcite. Les travaux présentés ici se rapportent à l'étude du phénomène de brunissement dans la rade de Brest, sa variation géographique et les modifications biologiques qui peuvent lui être associées, et à la mise au point d'une technique de détection précoce des perturbations de la calcification.

1. MATERIEL ET METHODES.

1.1. MATERIEL ANIMAL.

Les coquilles ont été draguées en Rade de Brest pendant l'année 1994, dans des zones coquillères exploitées (issues de peuplement naturel ou de semis). Celles de Pen a Lan ont été récoltées en plongée. Les autres sites extérieurs à la Rade ont été choisis arbitrairement comme éléments de comparaison. Les coquilles de la Baie de Seine proviennent d'un seul site en Manche, juste au sud de la bouée de Greenwich; elles ont séjourné une nuit en chambre froide avant d'être disséquées. Les coquilles de la Baie de Morlaix et celles de la Baie de Quiberon sont des coquilles de semis. Toutes les coquilles sauf celles de la baie de Seine ont été disséquées dès leur sortie de l'eau de mer.

Sur chacune des coquilles, on a relevé :

- le poids frais total, égoutté, le poids des valves, le poids frais du muscle adducteur, le poids frais de la gonade.
- la hauteur,
- la longueur,
- après séchage à l'étuve à 105°C, pendant 24 h : le poids sec du muscle adducteur et le poids sec de la gonade,
- le degré de brunissement des deux valves, calculé d'après l'indice défini ci-dessous.

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des prélèvements recueillis lors de l'échantillonnage.

Site de prélèvement	Localisation	Profondeur	Classe d'âge	Nombre	Date
Saint Pierre	SP 48°21'65" N 4°29'50" O	30 m	4 ans	30	02.02.94
Caro	C 48°20'50" N 4°27'80" O	20 m	4 ans	30	02.02.94
Roscanvel	B 48°19'80"N 4°31'50"O	10 m	4 ans	30	09.02.94
"	A 48°19'60"N 4°30'20"O	30 m	4 ans	30	"
"	R2 48°19'65" N 4°30'20" O	20 m	2 ans	30	04.02.94
"	R3	20 m	3 ans	30	"
"	R4	20 m	4 ans	30	"
"	R5	20 m	5 ans	30	"
Pen ar vir	P 48°18'30"N 4°24'20"O	30 m	4 ans	30	23.02.94
Pen a lan	T 48°19'25"N 4°23'40"O	3 m	diverses	29	01.03.94
L'auberlac'h	L 48°19'60"N 4°30'20"O	8 m	4 ans	8	14.02.94
Lanveoc	IA 48°17'77"N 4°26'25"O	12m	diverses	57	12.12.94
Bouée de Greenwich	BS4 50°20' N 0°+/-20' O	40 m	4 ans	30	26.04.94
"	BS5	40 m	5 ans	30	"
"	BS6	40 m	6 ans et plus	6	"
Quiberon	Q 47°32'50"N 3°5'O	5m	4 ans	30	24.10.94
Morlaix	M	20m	4 ans	30	16.11.94

1.2. DEFINITION DE L'INDICE DE BRUNISSEMENT.

La face interne des valves a été divisée en 12 zones représentées sur la figure qui suit.

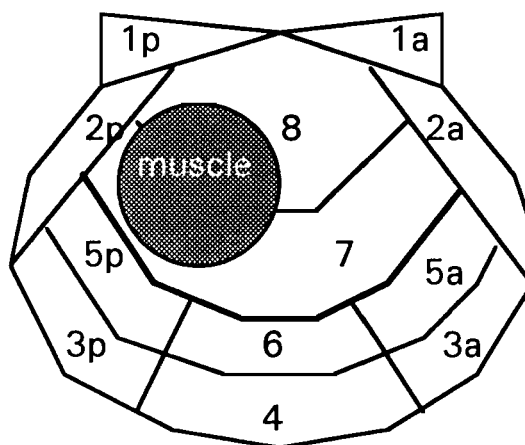


Figure 1 : Face interne de la valve supérieure

La suture palléale (représentée en gras sur le graphe ci-dessus) délimite deux compartiments : un compartiment extrapalléal comprenant les zones 1 (antérieure et postérieure), 2 (a et p), 3 (a et p), 4, 5 (a et p) et 6, et un compartiment intrapalléal comprenant les zones 7 et 8.

On donne à chacune des zones extrapalléales (ze) touchées par le brunissement une valeur de 1 et à chacune des zones intrapalléales (zi) une valeur de 2. Le total pour toutes les zones touchées correspond à un indice d'extension sur une échelle de 1 à 14.

$$I_{extension} = N_{ze} + 2 \cdot N_{zi}$$

L'intensité de la coloration peut être prise en compte en associant à chaque zone brune une valeur correspondant à sa couleur. Il a été choisi ici d'appliquer les valeurs suivantes : - zone brun clair (bc) : on garde la valeur attribuée précédemment, - zone brune (b) : valeur de la zone + 0,5, - zone brun foncé (bf) : valeur de la zone + 1.

$$I_{coloration} = N_{zebc} + 1,5 \cdot N_{zeb} + 2 \cdot N_{zebf} + 2 \cdot N_{zibc} + 2,5 \cdot N_{zib} + 3 \cdot N_{zibf}$$

Cet indice théorique peut donc varier sur une échelle de 1 à 26.

Ces indices de brunissement ont été arbitrairement répartis en 5 classes correspondant à des étapes dans la progression du phénomène. Les indices de rupture (8, 14, et 20) ont été choisis pour les colorations maximales :

- stade 1 (indice 0) : la face interne des coquilles est bien blanche sans aucune trace brune,
- stade 2 (indice 1 à 8) : la face interne des valves présente un début de brunissement,
- stade 3 (indice 8,5 à 14) : le brunissement s'étend à toute la zone extrapalléale,
- stade 4 (indice 14,5 à 20) : le brunissement gagne la zone intrapalléale, l'intensité de la coloration augmente,
- stade 5 (indice 20,5 à 26) : toute la face interne des valves prend une coloration brun foncé.

1.3. TRAITEMENTS STATISTIQUES.

Les valeurs des poids de muscle, de gonade, et de coquille ont été réajustées par rapport au poids total ou à la taille de l'individu, afin de pouvoir les comparer entre eux et obtenir un état de développement global des animaux.

On a ainsi calculé :

-Le % du poids frais de l'organe par rapport au poids total :

$$\%Pit = 100 \times P_i / P_{total} \quad \text{avec } i = \text{muscle, gonade ou test.}$$

-Le % du poids frais de l'organe par rapport au poids des parties molles :

$$\%Pim = 100 \times P_i / (P_{total} - P_{test}) \quad \text{avec } i = \text{muscle, gonade.}$$

-Le taux d'humidité qui reflète le niveau des réserves des parties molles.

-Les indices suivants :

$$I_{m1} = 1000000 \cdot P_{\text{frais muscle}} / \text{Hauteur}^3$$

$$I_{g1} = 1000000 \cdot P_{\text{frais gonade}} / \text{Hauteur}^3 \quad (\text{ou RGS})$$

$$I_{m2} = 100 \cdot P_{\text{sec muscle}} / P_{\text{test}}$$

$$I_{g2} = 100 \cdot P_{\text{sec gonade}} / P_{\text{test}}$$

Les différents échantillons ont été comparés par un test de comparaison de moyenne. Des corrélations entre l'âge des animaux et l'intensité du brunissement ont été établies suivant un modèle linéaire. La corrélation entre la profondeur des sites de la Rade de Brest et l'intensité moyenne du brunissement dans ces sites a été établie suivant un modèle "multiplicatif" (Logiciel Statgrafic).

1.4. ANALYSE STRUCTURALE DE LA COQUILLE ET DU MANTEAU.

La microstructure cristalline de coquilles blanches de la baie de Seine et de la Rade de Brest et de coquilles brunes de la Rade de Brest présentant différents degrés de brunissement a été observée au microscope électronique à balayage.

L'organisation du manteau élaborant les deux types de coquilles a été analysée par des techniques histologiques classiques. Les pièces fixées au bouin aqueux sont déshydratées et montées en

paraffine avant la réalisation de coupes transversales semi-fines. Ces coupes subissent une coloration topographique au trichrome de Masson (GABE, 1968). Des pièces de manteau et de coquille ont également été fixées : après une section délicate du muscle adducteur, les valves entières ont été fixées au bouin, les bains étant renouvelés tout les deux jours jusqu'à complète décalcification du test.

1.5. ANALYSE DE LA COMPOSITION PIGMENTAIRE DE LA COQUILLE.

Le pigment brun qui colore l'intérieur des valves a été caractérisé par des techniques histochimiques (GANTER et JOLLES, 1969) : essai de décoloration au peroxyde d'hydrogène 10% pendant 24 H, essai de solubilisation dans les solvants organiques, coloration de LILLIE au sulfate ferreux (LILLIE, 1957), coloration de Hueck. D'autres méthodes (LARVOR et *al.*, 1993) ont permis par ailleurs de vérifier son insolubilité dans des solvants très acides.

Les caractéristiques colorimétriques de ce pigment ont été mises en évidence par l'analyse de la réflectance de petits morceaux de coquille de coloration d'intensité différente sur un spectre de 400 à 750 nm, à l'aide d'un spectromètre ("Spectro 100", Optical spectrum analyser - Instrument systems. Optische MESSTECHNIK) couplé à un microscope photonique. Cette technique a été également utilisée pour détecter l'apparition de la pigmentation sur des coquilles blanches de différents sites (une centaine au total).

2. RESULTATS.

2.1. LE BRUNISSEMENT DANS LA RADE DE BREST.

L'évolution des stades de brunissement est représentée sur la figure II. Les indices moyens de brunissement des valves supérieures des coquilles de classe 4 des différents sites prospectés en rade de Brest sont représentés sur la figure III.

2.1.1. *Influence de l'âge des animaux.*

Le brunissement augmente très significativement (analyse de variance, $P=0.01$) avec l'âge des individus, aussi bien en Baie de Seine qu'en Rade de Brest (figure IV et V). Les coefficients de corrélation calculés pour les deux lots sur l'ensemble des coquilles sont faibles (BS : $R=0.36$ et R : $R=0.62$) mais ils sont significatifs. D'autre part, les indices moyens de brunissement de chacune des classes de taille prélevées à Roscanvel (R2, R3, R4, R5) sont différents à 0.01, sauf R2 et R3. En baie de Seine, les coquilles de classe 5 sont plus touchées que les coquilles de classe 4 ($P=0.05$). Malgré une grande dispersion des valeurs, on peut établir une régression linéaire entre l'âge des animaux et leur brunissement (analyse de variance significative, $P=0.01$). Les pentes des deux droites de régression sont équivalentes (test d'égalité des deux coefficient de régression, $P=0.01$).

2.1.2. *Variation en fonction des sites.*

Le phénomène est plus prononcé à faible profondeur (figure III et VI). Le lot de coquilles de Roscanvel situé à 10 m (B) est plus brun ($P=0.05$) que les deux autres lots situés à plus grande profondeur (R et A), sur le même site. Les deux lots prélevés à 20 et 30 m sont équivalents. Le phénomène n'est pas particulier à ce site : les lots prélevés à Lanvéoc (12 m), à L'Auberlach (10 m) et à Pen a lan (3 m) comme celui prélevé en baie de Quiberon sont également plus bruns que les autres. Quand on observe l'évolution du brunissement moyen en fonction de la profondeur des sites prospectés en rade de Brest (Figure VI), on constate que celui-ci suit un modèle exponentiel de type $y = a x^b$, avec $\log a = 3.399$ et $b = -0.363$, $R = -0.97$ ($P = 0.01$). Pour l'ensemble des sites de profondeur supérieure à 20 m qu'ils soient en rade de Brest en baie de Morlaix ou en baie de Seine, les brunissement moyens sont équivalents.

Figure II Evolution du brunissement.

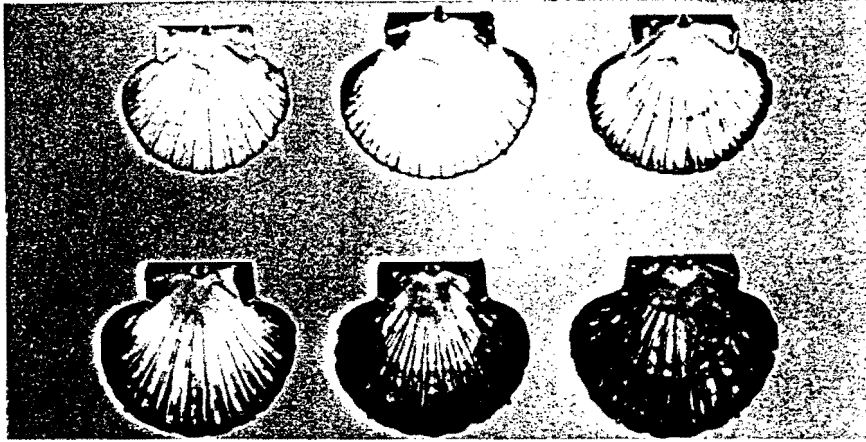


Figure III Indices moyens de brunissement des coquilles de classe 4.
Les intervalles de confiance sont donnés à 95%.

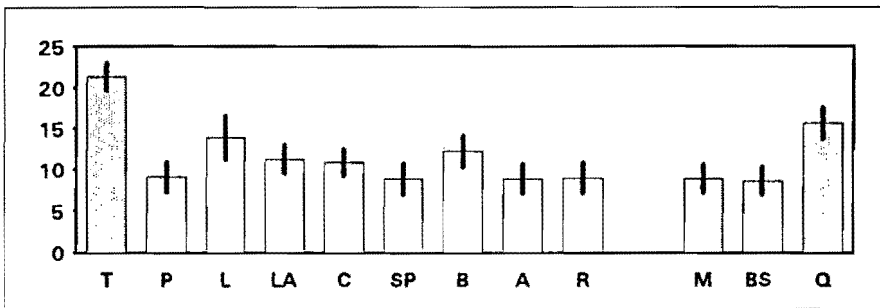


Figure IV Evolution de l'indice de brunissement en fonction de l'âge de l'animal pour des coquilles prélevées à Roscanvel, à 20 m de profondeur ($r = 0.62$, $y = 3.15x - 3.35$, $P = 0.01$).

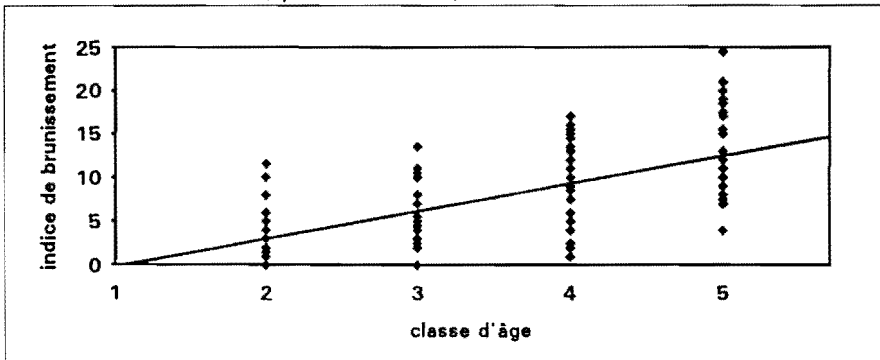
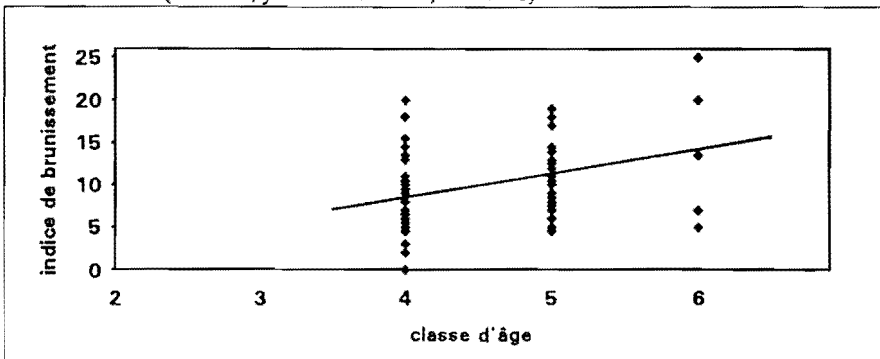


Figure V Evolution de l'indice de brunissement en fonction de l'âge de l'animal pour des coquilles prélevées en Baie de Seine, à 40 m de profondeur ($r = 0.36$, $y = 2.87x - 3.00$, $P = 0.01$).



On n'observe pas d'évolution du phénomène d'amont en aval de l'estuaire de l'Aulne (Figure III). Les seules fluctuations observées sont liées aux variations de profondeur, ou plutôt à des variations corrélées profondeur-caractéristiques hydrologiques de chaque site. Ceci seait bien sur à vérifier.

2.1.3. Corrélation du brunissement aux paramètres de développement général de l'individu.

Les paramètres de santé générale de l'individu ne sont liées au brunissement de la coquille que lorsqu'il atteint des stades extrêmes. On peut cependant noter que le pourcentage en eau du muscle des coquilles de classe 2 prélevées à Roscanvel ou celui des coquilles prélevées à Pen a lan augmente légèrement mais de façon significative (analyse de variance : R², P=0.05 ; P, P=0.01) avec le brunissement des valves (figure VII) ; la dispersion des valeurs est cependant très grande (R², R=0.39 ; P, R=0.58). Par ailleurs, les coquilles prélevées sur le site le moins profond - Pen a lan - se distinguent de tous les autres lots par leur fort % poids du test (62.30%, P = 0.001) et par de faibles indices musculaires. On a pu également observer lors de la dissection des animaux que les coquilles les plus brunes des différents sites prospectés présentaient des signes nets d'affaiblissement du tonus musculaire.

2.2. ANALYSE STRUCTURALE.

2.2.1. LES DIFFERENTS TYPES DE PERTURBATIONS STRUCTURALES.

Le brunissement de la couche interne calcifiée des valves de *P. maximus* ne modifie pas la structure générale de la coquille tant qu'il n'atteint pas des indices supérieurs à 20 (figure II, coquilles 1 à 5). Par contre le développement d'organismes foreurs qui peut lui être associé perturbe l'élaboration normale de la coquille (Figure VIII). L'infestation par des algues vertes perforantes - *Osteochromis sp.* - surtout localisées sous le muscle et plus particulièrement sous le muscle strié (figure VIII) engendre la formation par la coquille Saint Jacques de concrétions noirâtres. Des éponges perforantes peuvent engendrer le même type de symptômes ainsi qu'une très forte fragilisation des valves. L'installation de *Polydora hoplura claparède*, dans la zone extrapalléale ou intrapalléale provoque un chambrage de la coquille : les chambres qui recouvrent les boues de déjection des *Polydora* sont formées d'une lame organique très brune non calcifiée, la sécrétion coquillière se reforme progressivement sur ces chambres. Le chambrage peut s'étendre à toute la zone intrapalléale (figure VIII). Des structure organiques de même type que l'anneau brun de la palourde *Ruditapes philippinarum* peuvent également être observées en périphérie de la coquille, mais elles ne sont pas toujours associées à un brunissement du matériel calcifié. L'apparition de ce type de structure peut engendrer des modifications très profondes des marges valvaire et empêcher la fermeture hermétique de la coquille. Ce type de malformations a surtout été observé sur des coquilles quiberonnaises.

La structure du manteau ainsi que celle de la coquille est la même chez les coquilles brunes et chez les coquilles blanches : on n'observe pas dans l'épaisseur du test décalcifié des coquilles brunes de modifications signalant l'accumulation de matériel organique. Les épithélia du sillon périostracal et l'épithélium externe du manteau ne sont pas modifiés, sauf dans le cas très rare de formation importante d'anneau brun où l'épithélium externe présente une hyperplasie.

2.2.2. LES PERTURBATIONS MICROSTRUCTURALES.

La couche interne des coquilles blanches de la rade de Brest ou de la baie de Seine et les zones blanches des coquilles brunes présentent un type de microstructure calcitique foliée : des cristaux lamellaires allongés, organisés en éventails dirigés vers le bord de croissance de la coquille (figure IX.a). Les modifications microstructurales observées dans les zones brunes calcifiées peuvent être plus ou moins intenses (figure IX.b, c et d), allant d'un aspect de cristaux partiellement "rongés", jusqu'à une complète désorganisation cristalline.

Figure VI Evolution de l'indice moyen de brunissement en fonction de la profondeur en Rade de Brest (intervalles de confiance à 95%).

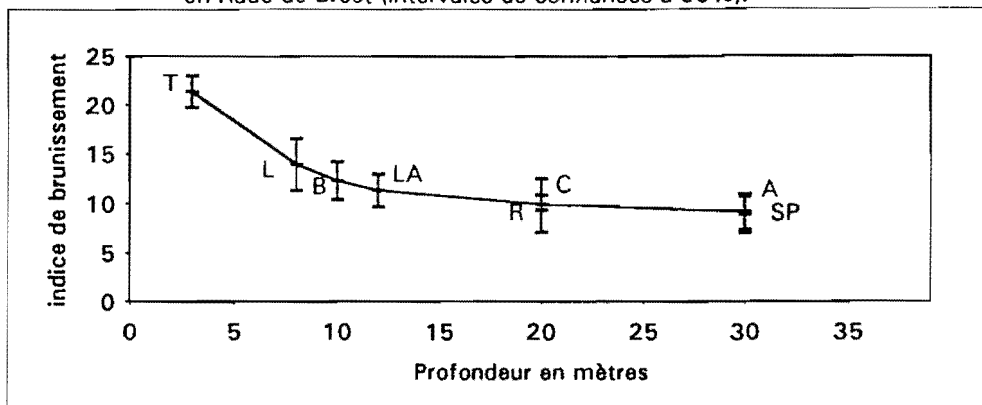


Figure VII Variation du pourcentage en eau du muscle en fonction de l'indice de brunissement des valves (R2 : $y = 0.219x + 78.286$, $R = 0.39$, $P = 0.05$; Pen a lan : $y = 0.14x + 74.135$, $R = 0.58$, $P = 0.01$)

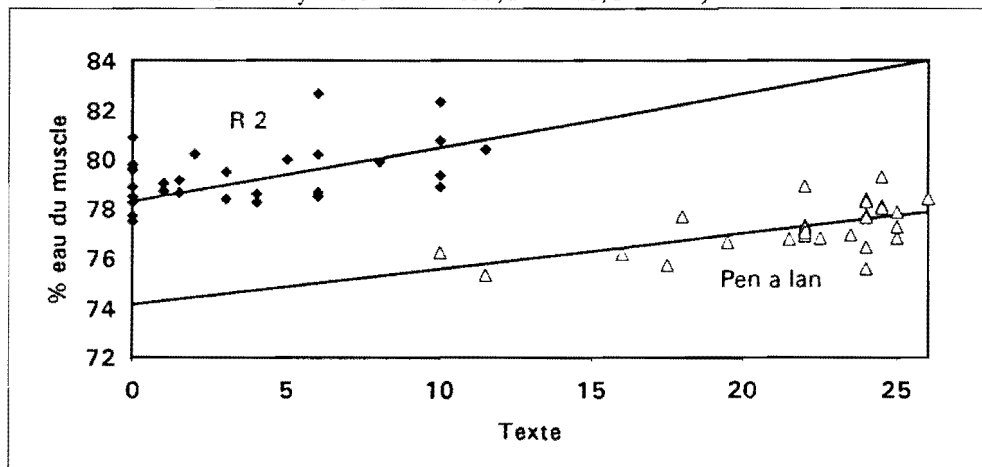


Figure VIII Coquille brune présentant une infestation parasitaire



Figure IX

Observations microstructurales de la couche interne des valves (échelle = 10 μm).
a - Microstructure foliée de la couche interne des valves blanches.
b, c, d - Modifications de la microstructure foliée sur des valves brunes.

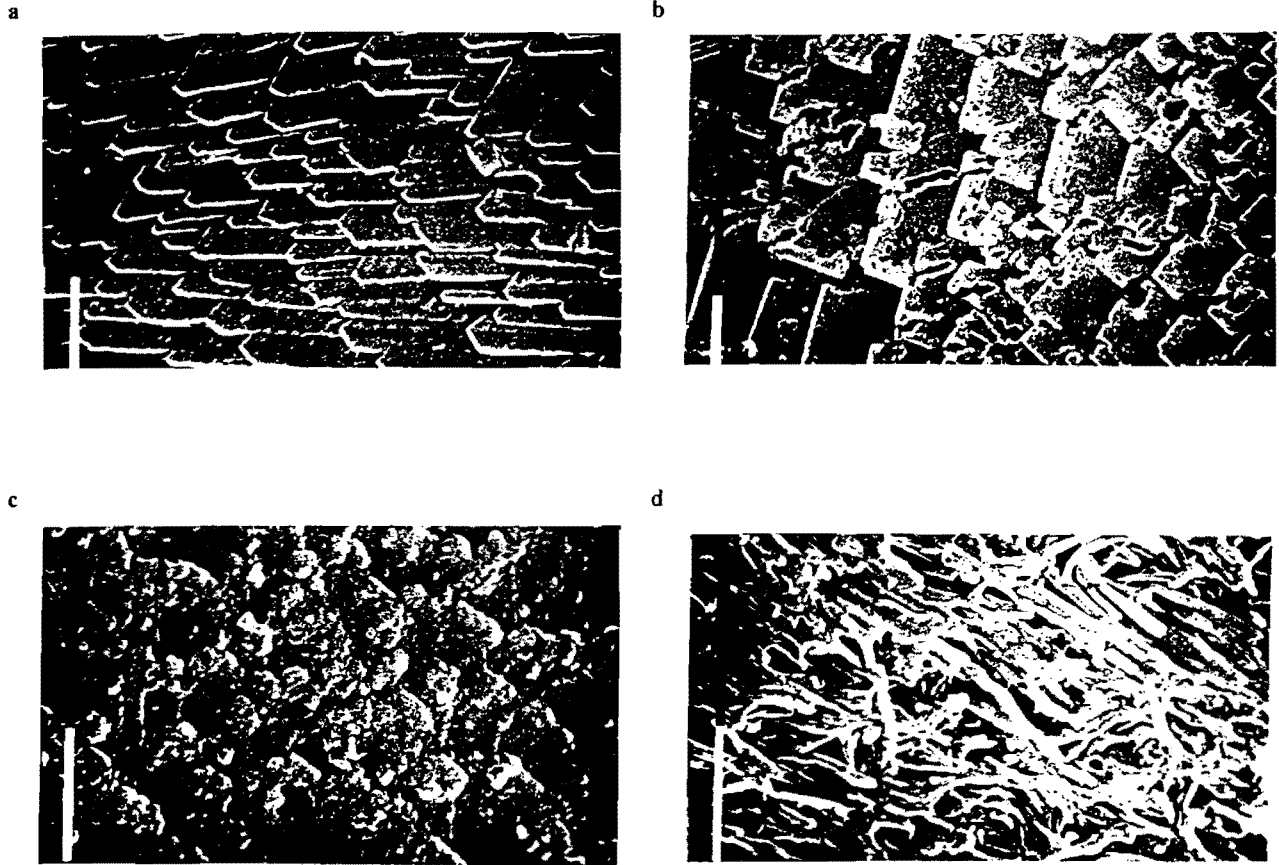


Figure X Réflectance de coquilles brunes et blanches

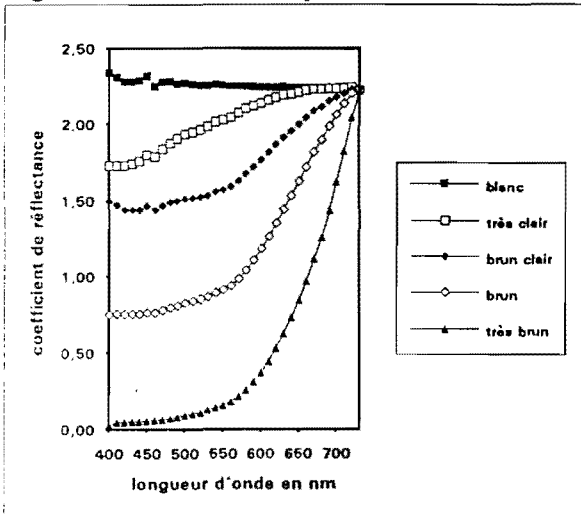
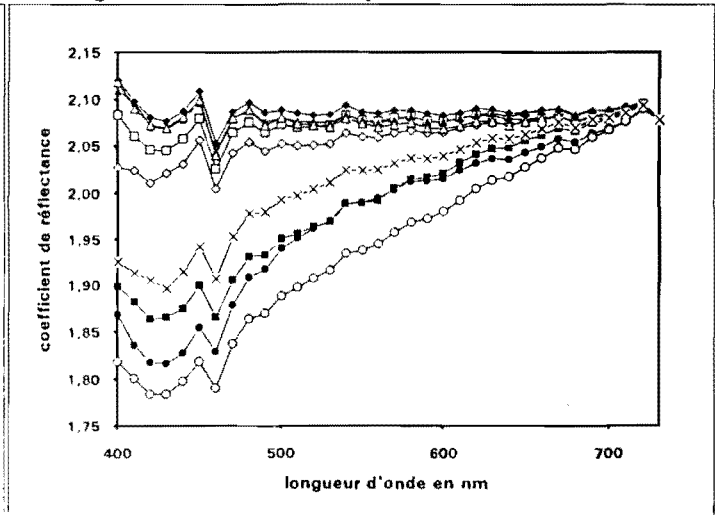


Figure XI Réflectance de coquilles blanches de Roscanvel.



2.3. ANALYSE DE LA COMPOSITION PIGMENTAIRE DE LA COQUILLE.

2.3.1. CARACTERISATION DU PIGMENT BRUN.

Les caractéristiques d'insolubilité dans les solvants très acides et dans les solvants organiques ont permis de classer le composé brun dans deux types de pigments : les eumélanines et les lipofushines. Les résultats négatifs à la coloration de Hueck spécifique des lipofushines et positifs à la décoloration à l'eau oxygénée et à la coloration de Lillie ont montré que ce pigment appartient au groupe des eumélanines.

2.3.2. ETUDE DE LA REFLECTANCE.

L'étude colorimétrique de coquilles présentant différents degrés de brunissement montre que la coloration brune est associée à une diminution de la réflectance sur un spectre assez large allant de 400 à 600 nm (un blanc parfait est caractérisé par une même réflectance sur l'ensemble du spectre). Plus les coquilles sont brunes, plus la réflectance diminue dans cette zone spectrale (figure X).

L'observation de coquilles blanches de différents sites montre que certaines, alors qu'elles sont encore blanches à l'oeil nu, présentent déjà une diminution de la réflectance autour de 450 nm, donc vraisemblablement un début de coloration brune qui n'est détectable qu'avec cette méthode. Un exemple est présenté sur la figure XI, pour des coquilles blanches de Roscanvel.

DISCUSSION

Les altérations coquillières observées sur *P. maximus* peuvent être rattachées à différents types de modifications déjà recensées chez d'autres espèces de mollusques.

Le dépôt de matériel organique brun est souvent observé chez des animaux souffrant d'infestations parasitaires (JOHANNESSEN, 1973 ; BARTOLI, 1976 ; BLAKE et EVANS, 1973 ; GETCHELL, 1991 ; SATO-OKOSHI et OKOSHI, 1992) ou de maladies bactériennes (PAILLARD, 1992), ou tout simplement soumis à de mauvaises conditions de vie (MORI, 1975 ; PALMER, 1980). Chez la coquille Saint Jacques, il est lié à la présence de parasites et au mécanisme de défense de l'hôte qui sécrète un film organique pour isoler ses propres tissus du foreur (SATO-OKOSHI et OKOSHI, 1993). On détecte la présence de mélanine dans ce film organique, mais cette réaction aux parasites doit être distinguée du phénomène de coloration des structures calcifiées.

Les coquilles de nombreux bivalves cultivés dans des milieux écologiquement instables peuvent présenter des perturbations microstructurales associées ou non à un changement de coloration : MARIN et DAUPHIN (1992) ont observé des altérations des tablettes de nacre dans le cas de la maladie de l'huître perlière -*Pinctada margaritifera* ; MACHADO *et al.* (1993) ont montré que le TBTO, le diflubenzuron, les variations de pH de l'eau pouvaient entraîner des modifications de la microstructure de la couche interne des valves de *A. cygnea* et PREZANT et CHALERMWAT (1983) que les variations de la température et de l'apport trophique pouvaient avoir une influence sur la microstructure de *Corbicula fluminea*. De telles observations ont été faites également chez des coquilles Saint Jacques expérimentalement soumises à un jeûne (DEVAUCHELLE *et al.*, 1993). Il semble donc assez logique de penser que les modifications microstructurales associées à la coloration pourraient être le résultat de perturbations écologiques du milieu.

L'étude de la composition organique et minérale des coquilles brunes (DEVAUCHELLE *et al.*, 1993, LARVOR *et al.*, 1993) n'a pas permis de mettre en évidence des modifications nettes des processus de biominéralisation : les matrices organiques ont des compositions en acides aminés quasi identiques, et l'analyse minérale des coquilles ne montre pas des variations importantes dans la composition en calcium ou en métaux. Il semble que ce soit la présence de mélanine qui associée aux enveloppes cristallines vient perturber la croissance normale des cristaux de calcite et

créer un désordre dans la microstructure foliée. Les processus de mélanisation appartiennent au mécanisme de réaction immunitaire des invertébrés (SÖDERHÄLL *et al.*, 1994) : les précurseurs de mélanine sont notamment reconnus comme produits toxiques (GRAHAM *et al.*, 1978). Ce mécanisme de réponse immunitaire a été très étudié chez les insectes (PYE, 1974 ; SÖDERHÄLL, 1982, 1992) et les crustacés (SÖDERHÄLL et CERENIUS, 1992). Chez les mollusques, il commence seulement à être signalé (PAILLARD, 1992), mais pourrait être aussi très généralisé. Par ailleurs, les mélanines peuvent avoir une action anti-inflammatoire (MIMURA *et al.*, 1987), et un rôle dans la biosorption du cuivre et du TBT (GADD *et al.*, 1990 ; GADD et de ROME, 1988).

Ces propriétés de la mélanine pourraient en toute hypothèse jouer un rôle dans des mécanismes de réponse à des perturbations écologiques du milieu de vie de la coquille Saint Jacques. Peut-être pourrait-ce être un signe de résistance à des "stress" variés, notamment ceux liés à la vie dans des zones peu profondes. Les variations hydrologiques propres à ces milieux sont nombreuses et dans l'état actuel d'avancement des travaux il n'est pas possible d'en discriminer une. Les apports d'eaux douces et de composés qui peuvent y être dissous, les variations de l'hydrodynamisme, des conditions trophiques, de la flore algale... peuvent l'un ou/et l'autre entrer en ligne de compte.

Par ailleurs, le phénomène de brunissement est un signe de vieillissement car il augmente avec l'âge des individus. Cependant, il peut apparaître avec une forte intensité chez de très jeunes coquilles Saint Jacques, ce qui fait alors penser plutôt à un vieillissement précoce. Il semble alors normal de penser que ce soit l'accumulation de conditions de vie "stressantes" et non une évolution génétiquement normale qui entraîne le brunissement de ces animaux. Une étude expérimentale est actuellement en cours afin d'évaluer l'influence de paramètres environnementaux sur la calcification et ses anomalies.

REFERENCES

- ALZIEU, C., HERAL M., THIBAUD Y., DARDIGNAC M.J., FEUILLET M., 1982. 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.
- BARTOLI, P., 1976. Modification de la croissance et du comportement de *Venerupis aurea* parasité par *Gymnophallus fossarum* P. Bartoli, 1965 (*Trematode, Digenea*). *Haliotis*, 7 : 23-28.
- BLAKE, J.A., EVANS J.W., 1973. *Polydora* and related genera as borers in mollusk shells and other calcareous substrates (Polychaeta: Spionidae). *Veliger*, 15: 235-249.
- DAO, J.C., 1991. Semis et recaptures en Rade de Brest. 8th Pectinid Workshop, Cherbourg, Mai 1991.
- DEVAUCHELLE, N., CUIF J. P., LARVOR H., LARZUL P., 1993. Scallop spawners shells : structural and biochemical characteristics and abnormalities. - *Proceedings of the 9th Pectinid Workshop, 22-27 April 1993, Nanaïmo, Canada*.
- EPIFANIO, C.E., 1976. Shell deformity among scallops (*Argopecten irradians* Lamark) cultured in a recirculating seawater system. *Aquaculture*, 9: 81-85.
- GABE M., 1968. Techniques histologiques. *Masson & Cie (Ed.)*. Paris : 1133 p.
- GADD J. M., ROME L., 1988. Biosorption of copper by fungal melanin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 29: 610-617.
- GADD J. M., GRAY D. J., NEWBY P. J., 1990. Role of melanin in fungal biosorption of tributyltin chloride. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 34: 116-121.
- GANTER P., JOLLES G., 1969. Histochimie normale et pathologique I. *Gauthier-Villars, Paris* : 923 p.
- GETCHELL, R.G., 1991. Diseases and parasites of scallops. *Scallop : Biology, ecology and aquaculture* (Sandra E. Shumway. Ed.). *Dev. in aquaculture and fisheries science*, 21: 471-494.
- GOULLETQUER, P., HERAL M., BECHEMIN C., RICHARD P., 1989. Anomalies de calcification chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*: caractérisation et comparaison des compositions en acides aminés de différentes parties de la coquille analysées par HPLC. *Aquaculture*, 81: 169-183.
- GOULD, E., FOWLER B., 1991. Scallops and pollution. In "*Scallops : Biology, Ecology, & Aquaculture*". *Shumway S. E. (ed.)* : 495-515.
- GRAHAM D. J., TIFFANY S. M., VOGEL F. S., 1978. The toxicity of melanin precursors. *The Journal of Investigative Dermatology*, 70(2): 113-116.

- JOHANNESSEN, O.H., 1973. Deformations of the inner shell surface of *Venerupis pullastra* (Montagu) (Lamellibranchia) as a result of infection by a trematod metacercaria, with a note of parasitism leading to parasitic castration. *Sarsia*, 52: 117-122.
- LARVOR, H., CUIF J. P., DEVAUCHELLE N., DAUPHIN Y., DENIS A., GAUTRET P., MARIN F., 1993. Development of a brown internal coloration in the scallops shell (*Pecten maximus*). Study of microstructural characteristics and analyses of crystal organic matrices. *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco, 7th International Symposium on Biomineralisation, Monaco, 1993, November 17-20th*.
- LILLIE R.D., 1957. Metal reduction reactions of the melanins : histochemical studies. *J. Histochem. Cytochem.* 5 : 325-333.
- MACHADO J., COIMBRA J., CASTILHO F., SA C., 1990. Effect of diflubenzuron on shell formation of the freshwater clam, *Anodonta cygnea*.- *Arch. Env. Contam. Toxicol.*, 19: 35-39.
- MACHADO J., COIMBRA J., 1993 : The effect of some pollutants on the calcification process in the shell of *Anodonta cygnea*. *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco, 7th International Symposium on Biomineralisation, Monaco, 1993, November 17-20th*.
- MANN R. TAYLOR R.E., 1981. Growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*, in a waste recycling aquaculture system. *Aquaculture* 24: 45-52.
- MARIN F., DAUPHIN Y., 1992. Malformations de la couche nacrée de l'huître perlière *Pinctada margaritifera* (L.) de la Polynésie française : rapports entre altérations microstructurales et composition en acides aminés. *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, Paris. 13^e série, vol. 3, fasc.4*: 157-168.
- MIMURA T., ITHO S., TSUJIKAWA K., NAKAJIMA H., SATAKE M., KOHAMA Y., OKABE M., 1987. - Studies on biological activities of melanin from marine animals. V. Anti-inflammatory activity of low-molecular-weight melanoprotein from squid (Fr. SMII). *Chem. Pharm. Bull.* 35(3): 1144-1150.
- MORI K. 1975. Seasonal variation in physiological activity of scallops under culture in the coastal waters of Sanriku district, Japan, and a physiological approach of a possible cause of their mass mortality. *Bulletin of the Marine Biological Station of Asamushi*, vol. 15, n°2: 59-79.
- PAILLARD C., MAES P., in press. The brown ring disease symptom in the manila clam, *Ruditapes philippinarum* : establishment of a classification system. *Disease Aquatic Organisms*.
- PAILLARD C. 1992. Etiologie et caractérisation de la maladie de l'anneau brun chez la palourde d'élevage *Ruditapes philippinarum*. *Thèse Doctorat, Université de Bretagne Occidentale*, 2 vol., 196 p.
- PALMER R.E., 1980. Observations on shell deformities, ultrastructure, and increment formation in the Bay scallop *Argopecten irradians*. *Marine Biology* 58: 15-23.
- PASS D. A., DYBDAHL R., MANNION M. M., 1987. Investigations in the cause of mortality of the pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jamson), in western Australia. *Aquaculture*, 65 : 149-169.
- PYE A. E., 1974. Microbial activation of prophenol oxidase from immune insect larvae. *Nature* 251: 610-613.
- PREZANT, R. S., CHALERMWAT K., 1983. -Environmentally induced changes in shell microstructure of the asiatic clam *Corbicula*.- *American Zoologist Abstract*, 23 (4) : 914.
- SATO-OKOSHI W., OKOSHI K., 1992. -Polydora-scallop interactions : structural defenses in resistance to burrowing. *Aquabiology*, 79 : 113-119.
- SATO-OKOSHI W., OKOSHI K., 1993. -Microstructure of scallop and oyster shells infested with boring *Polydora*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(7) : 1243-1247.
- SÖDERHÄLL K., 1982. Prophenoloxidase activating system and melanization - a recognition mechanism of arthropods? a review. *Developmental and comparative immunology*, 6: 601-611.
- SÖDERHÄLL K., 1992. Biochemical and molecular aspects of cellular communication in arthropods. *Bull. Zool.*, 59: 141-151.
- SÖDERHÄLL K., CERENIUS L., 1992. Crustacean immunity. *Annual Rev. of Fish Diseases*, 3-23.
- SÖDERHÄLL K., CERENIUS L., JOHANSSON M. W., 1994. The prophenoloxidase activating system and its role in invertebrate defence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 712: 151-161.