

PRÉSENCE DE TISSU OSSEUX ACELLULAIRE VASCULARISÉ DANS LES ÉCAILLES ÉLASMOÏDES DE *MICROPOGONIAS ALTIPINNIS* (OSTEICHTHYES, PERCIFORMES, SCIAENIDAE)

par

François J. MEUNIER (1, 2), Laurent SORBA (1) & Philippe BÉAREZ (1, 3)

RÉSUMÉ. - Les adultes du sciaenidé *Micropogonias altipinnis* ont des écailles élasmoïdes épaisses. Elles présentent toutefois les deux parties classiques de telles écailles : couche superficielle ornementée recouvrant une plaque basale de strates de collagène formant une organisation en contre-plaqué ou isopédine. Cette dernière se minéralise au moyen de corpuscules de Mandl. Toutefois ces écailles se distinguent par le développement d'un réseau de canaux et cavités bordés d'os acellulaire secondaire, entre la couche superficielle et la plaque basale. Ce mode d'organisation est, à notre connaissance, tout à fait original chez les écailles élasmoïdes des Téléostéens. De plus, la progression de la minéralisation de la plaque basale, au moyen des corpuscules de Mandl, est également originale. Des secteurs plus ou moins étendus et localisés en arrière du front de minéralisation restent dépourvus de minéral.

ABSTRACT. - Presence of vascularized acellular bone in the elasmoid scales of *Micropogonias altipinnis* (Osteichthyes, Perciformes, Sciaenidae).

The adults of the sciaenid *Micropogonias altipinnis* have thick elasmoid scales. Nevertheless, they show the two classical parts of such scales: the ornamented superficial layer overlaying the basal plate made of collagenous strata showing a plywood-like organization called isopedine. The latter mineralizes due to the presence of Mandl's corpuscles. But, between the superficial layer and the oldest strata of the basal plate, these elasmoid scales show a network of vascular canals and cavities, the walls of which are made of secondary acellular bone. To our knowledge this organization is original in the scales of Teleostei. Moreover, the progress of the mineralisation in the basal plate with Mandl's corpuscles is an original process. Some more or less wide areas localized behind the mineralization front remain unmineralized.

Key words. - Sciaenidae - *Micropogonias altipinnis* - Elasmoid scales - Histology - Mineralization - Remodeling.

Le genre *Micropogonias* appartient à la famille des Sciaenidae dont il est un représentant typiquement néotropical, cette région étant probablement l'origine biogéographique de ce groupe (Chao, 1986). Il comprend 2 espèces atlantiques (*M. undulatus* et *M. furnieri*) et 4 espèces pacifiques (*M. megalops*, *M. ectenes*, *M. altipinnis* et *M. manni*). L'espèce étudiée ici est *Micropogonias altipinnis* (Günther, 1864), qui se répartit depuis le Golfe de Californie (Mexique) jusqu'au nord du Pérou (Chao, 1995). C'est une espèce côtière et plutôt grégaire qui affectionne les fonds sableux jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur, ainsi que les lagunes et les estuaires. Dans le Golfe de Guayaquil (Équateur), elle peut atteindre une taille d'au moins 800 mm LT pour un poids de 6 à 7 kg. Elle est connue pour présenter des hyperostoses, notamment sur l'os lacrymal et sur l'operculaire (Béarez, 1997). Par ailleurs, cette espèce possède des écailles relativement grandes.

L'un d'entre nous (P.B.) ayant remarqué que, chez les grands spécimens, l'épaisseur des écailles augmentait de

façon importante au fur et à mesure de la croissance, il nous a paru opportun d'examiner de plus près la structure histologique de ces dernières. C'est au cours de cet examen que nous avons mis en évidence des canaux vasculaires aux parois ossifiées dans les couches les plus superficielles de la plaque basale, phénomène suffisamment original et nouveau dans les écailles de type élasmoïde (Bertin, 1944) pour justifier une étude plus approfondie. Les écailles élasmoïdes sont reconnues par les auteurs comme constituées de deux couches superposées : la couche externe ornementée, d'épaisseur relativement faible, et la plaque basale, ensemble de strates de fibres de collagène, souvent acellulaire et incomplètement minéralisée (Goodrich, 1907 ; Bertin, 1958 ; Sire et Meunier, 1981 ; Meunier, 1984a ; Sire, 1987 ; Zylberberg *et al.*, 1992). Les rares formations vasculaires décrites sur les écailles élasmoïdes se limitent à des canaux qui traversent l'épaisseur de l'écaille (Kölliker, 1859 ; Meunier, 1980 ; 1984b). Il faut remarquer par ailleurs que la littérature ne livre aucune information sur la structure des écailles chez

(1) Unité "Biodiversité et Dynamique des Communautés aquatiques", Département des Milieux et Peuplements aquatiques, Muséum national d'Histoire naturelle, 43 rue Cuvier, 75231 Paris cedex 05, FRANCE. [meunier@mnhn.fr]

(2) CNRS FRE 2696, Évolution et Développement du Squelette, case 7077, Université Paris 6, 7 quai St-Bernard, 75251 Paris cedex 05, FRANCE.

(3) ESA CNRS 8045, Muséum national d'Histoire naturelle, 55 rue Buffon, 75231 Paris cedex 05, FRANCE.

les Sciaenidae, tout au moins à notre connaissance. Nous présentons donc ici les résultats d'un travail d'histomorphologie (MEB et lames minces) des écailles de *Micropogonias altipinnis*.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

Pour cette étude, nous avons utilisé les écailles de trois spécimens : un premier (non conservé) de 750 mm (LT) et un deuxième (N° 5135 ; squelette, collect. P. Béarez) tous les deux issus du marché aux poissons de Lima (Pérou), en provenance du golfe de Guayaquil ; le troisième (MNHN 2001-1358) de 335 mm (LT) a été pêché au large de Salango (Équateur).

Des écailles, de tailles et de localisation corporelle variées (1 à 3 cm de diamètre) ont été prélevées sur les deux plus grands spécimens. Certaines ont été conservées dans l'alcool 70° (premier spécimen), d'autres ont été gardées à sec (spécimen N° 5135). Celles du troisième spécimen ont été prélevées sur le flanc droit à l'aplomb de la première nageoire dorsale, au-dessus de la ligne latérale et plongées dans l'alcool. Les écailles maintenues en alcool ont été utilisées à la fois pour des études morphologiques au microscope électronique à balayage (MEB) et des études histologiques (lames minces).

Méthodes

Nettoyage à l'hypochlorite de sodium

Un nettoyage de quelques minutes à l'hypochlorite de sodium (6%) permet d'éliminer les tissus mous (épiderme et derme) recouvrant les écailles. Un traitement plus long avec de l'hypochlorite de sodium plus concentré attaque les fibres collagéniques non minéralisées de l'isopéline pour mieux visualiser le front de minéralisation. Dans les deux cas les échantillons sont ensuite rincés et déshydratés et maintenus à sec à l'abri de la poussière. Des fragments prélevés dans la région postérieure de l'écaille ont également été préparés pour une observation du front de minéralisation sur la zone de section.

Fracture des écailles

Les écailles conservées dans l'alcool 70° sont hydratées puis cassées dans de l'azote liquide. Après séchage, les zones fracturées sont ensuite étudiées au microscope électronique à balayage pour préciser, sur les plans de fracture, l'orientation des fibres de collagène de la plaque basale.

Microscope électronique à balayage (MEB)

Le matériel traité à l'hypochlorite de sodium est déshydraté dans des bains d'alcool croissant (70°, 90° et 100°),

puis séché. Les écailles sont épaisses et relativement bien minéralisées (voir plus loin) ce qui leur évite de se gondoler au séchage. Les écailles (ou les fragments pour les fractures) sont montées sur un support de nickel grâce à un ruban adhésif double face, puis recouvertes d'un film de palladium.

Les échantillons ont alors été étudiés avec un microscope électronique à balayage JEOL-SEM-35.

Lames minces

Le matériel est déshydraté dans des bains d'alcool croissant (70°, 90° et 100°). Les écailles sont ensuite plongées successivement dans deux bains d'acétone, dans un bain de styrène (solvant du stratyl), puis dans des mélanges successifs styrène-stratyl (75/25 ; 50/50 ; 25/75), pour finir dans du stratyl pur (la durée de chaque bain est de 24 heures). Le matériel est ensuite inclus dans du stratyl monomère additionné de 2% de catalyseur de polymérisation (péroxyde de méthyléthylcétone). Une fois la polymérisation achevée, les blocs d'inclusion sont débités en tranches de 200 µm d'épaisseur avec une tronçonneuse Isomet à disque diamanté. Les tranches ainsi obtenues sont d'abord microradiographiées puis progressivement amincies avec des abrasifs de grain décroissant et polies sur velours. Le tronçonnage et le polissage se font sous alcool pour éviter le gonflement du collagène, très avide d'eau. L'épaisseur finale des lames minces est de 80 à 100 µm. Les lames minces sont à nouveau microradiographiées.

Après montage entre lame et lamelle dans une goutte d'alcool 70°, les échantillons sont étudiés en lumière naturelle et polarisée et comparés aux microradiographies.

Microradiographie

La microradiographie permet l'étude qualitative de la minéralisation des structures et, plus précisément, de déceler des différences relatives de minéral. Les tranches (longitudinales et transversales) sont disposées sur un film sensible (SO-343, Kodak) et exposées pendant 25 minutes dans un faisceau de rayons X (30 kW, 10 mA ; distance à la source : 40 cm). Les microradiographies sont montées entre lame et lamelle pour être observées au microscope.

RÉSULTATS

Morphologie

Les écailles de *Micropogonias altipinnis* conservées à sec ne se recroquevillent pas comme le font généralement des écailles élasmoïdes après une déshydratation. Elles conservent une certaine rigidité qui est due, comme nous le verrons plus loin, à la fois à l'abondance du nombre des strates de la plaque basale et au grand développement des processus de minéralisation. La surface externe des écailles peut

se diviser en quatre champs : les champs latéraux, dorsal et ventral ornementés par des circuli réguliers et le champ antérieur où les circuli sont coupés par des dépressions ou gouttières à disposition radiaire, les radii, qui partent du foyer (Fig. 1). Ces trois champs constituent la partie recouverte de l'écaille, enfoncée dans le derme. Le quatrième (champ postérieur ou champ recouvrant), juste sous l'épiderme, est ornementé par des structures épineuses (ctenii) constituant une marge pectinée, caractéristique d'une écaille cténoïde (Fig. 1). Par ailleurs, au fur et à mesure de la croissance de l'écaille, de nouveaux ctenii s'ajoutent aux précédents formant des alignements d'épines emboîtées (Fig. 1, encadré).

Un examen plus approfondi montre, ici ou là à la surface des écailles, des orifices d'un diamètre voisin de 50 à 80 μm (Fig. 2). La zone située à proximité de ces orifices peut montrer des images de résorption partielle de la couche superficielle (Fig. 3). Le sommet des circuli est lui-même ornementé de fins denticules plus ou moins acérés d'une hauteur de 1 à 5 μm (Fig. 4 et encadrés a, b). Le foyer reste bien individualisé, au moins sur les écailles de moindre dimension ; les ornements du champ postérieur ne le recouvrent pas au cours de la croissance.

L'observation du front de minéralisation au MEB, après destruction de la matrice organique non minéralisée, montre qu'il forme une surface fréquemment irrégulière par suite de la présence de très nombreux corpuscules de Mandl. Toutefois, dans les régions les plus marginales du champ antérieur, les corpuscules de Mandl sont beaucoup moins abondants (Fig. 6). Les corpuscules périphériques sont plutôt de forme simple ovoïde et de petite taille (Fig. 7). En revanche, au fur et à mesure que l'on se rapproche de secteurs plus centraux, leur taille augmente et ils prennent une forme grossièrement quadrangulaire (Fig. 8) d'autant plus complexe que plusieurs corpuscules peuvent fusionner ensemble et/ou avec le front de minéralisation (Fig. 9). Toutefois, d'importants volumes de la plaque basale semblent rester indemnes de tout processus de minéralisation (Fig. 9 et voir plus loin).

Histologie

L'observation de coupes longitudinales et transversales en lumière transmise naturelle et polarisée et la comparaison avec les microradiographies des lames minces révèlent quelques particularités structurales originales.

Couche externe avec circuli. La couche externe, d'aspect crénelé sur coupe à cause des circuli, est constituée d'un tissu osseux minéralisé (Figs 10, 11) totalement dépourvu de cellules. Elle est donc acellulaire. Elle ne montre pas d'épaississements venant se surajouter à l'extérieur des circuli contrairement à d'autres taxons comme les Osteoglossidae (Meunier, 1984b) ou certains Characiformes (Meunier, 1997) par exemple.

Plaque basale. Également acellulaire, elle est très épaisse

et constituée d'un assez grand nombre de strates de fibrilles de collagène, plus d'une cinquantaine de strates sur les plus grandes écailles. Les plans de fracture observés au microscope électronique à balayage permettent de tracer (Fig. 5) la direction privilégiée des fibrilles dans chaque strate. Quand l'on passe d'une strate à la suivante, les directions fibrillaires font un angle proche de 90° (Fig. 5) ; on note toutefois une légère dérive de cet angle se caractérisant par un phénomène de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre (rotation dextre). La microradiographie montre au moins deux secteurs différents dans la plaque basale :

a) un premier secteur minéralisé homogène, dans le champ antérieur, juste sous la couche externe, d'une épaisseur égale à 1/4-1/3 de l'épaisseur de la plaque basale (Fig. 11) ; ce secteur passe progressivement, dans le champ postérieur, à une structure plus ou moins "spongieuse" constituée d'espaces dépourvus de minéral. Ces espaces sont en fait des cavités et canaux (ou ostéones) entourés de lamelles d'os (Fig. 12) dépourvues d'ostéocytes. On est en présence de tissu osseux vasculaire constitué d'os IIre acellulaire limité par des lignes cimentantes de réversion (Fig. 13), légèrement hyperminéralisées (Fig. 10, encadré). À la limite inférieure de cette zone vascularisée, au contact avec les strates de la plaque basale, on observe d'assez nombreuses baies d'érosion progressant aux dépens des lamelles collagéniques (Figs 10, 12, 13).

b) le deuxième secteur montre une forte hétérogénéité de la minéralisation de la plaque basale lamelleuse. Cette minéralisation progresse au moyen de corpuscules de Mandl, de tailles et de formes très variables (Figs 9, 14) mais qui ne semblent pas envahir l'ensemble de la matrice organique, si bien que l'épaisseur de la plaque basale laisse apparaître, aux rayons X, des espaces totalement dépourvus de minéral plus ou moins loin en arrière du front de minéralisation (Fig. 11). C'est ce que confirme le MEB sur des tranches d'écailles que l'on a traitées à l'eau de javel (Fig. 14).

DISCUSSION

Les écailles imbriquées de *Micropogonias altipinnis* présentent une couche externe ornementée recouvrant une plaque basale lamellaire qui se minéralise au moyen de corpuscules de Mandl. La couche externe, dépourvue d'ostéocytes, ne semble pas s'épaissir au cours du temps. En revanche, le sommet des circuli est muni de nombreux denticules dirigés vers le foyer. Ils ont une taille (1-5 μm) du même ordre de grandeur que ceux qui sont observés chez *Tilapia* (Lanzing et Higginbotham, 1974), *Pomatoschistus* (Fouda, 1979) ou, encore, *Fundulus* (Yamada et Watabe, 1979) alors que chez la carpe et le poisson rouge ils sont nettement plus petits (0,2-0,4 μm) (Zylberberg et Meunier, 1981).

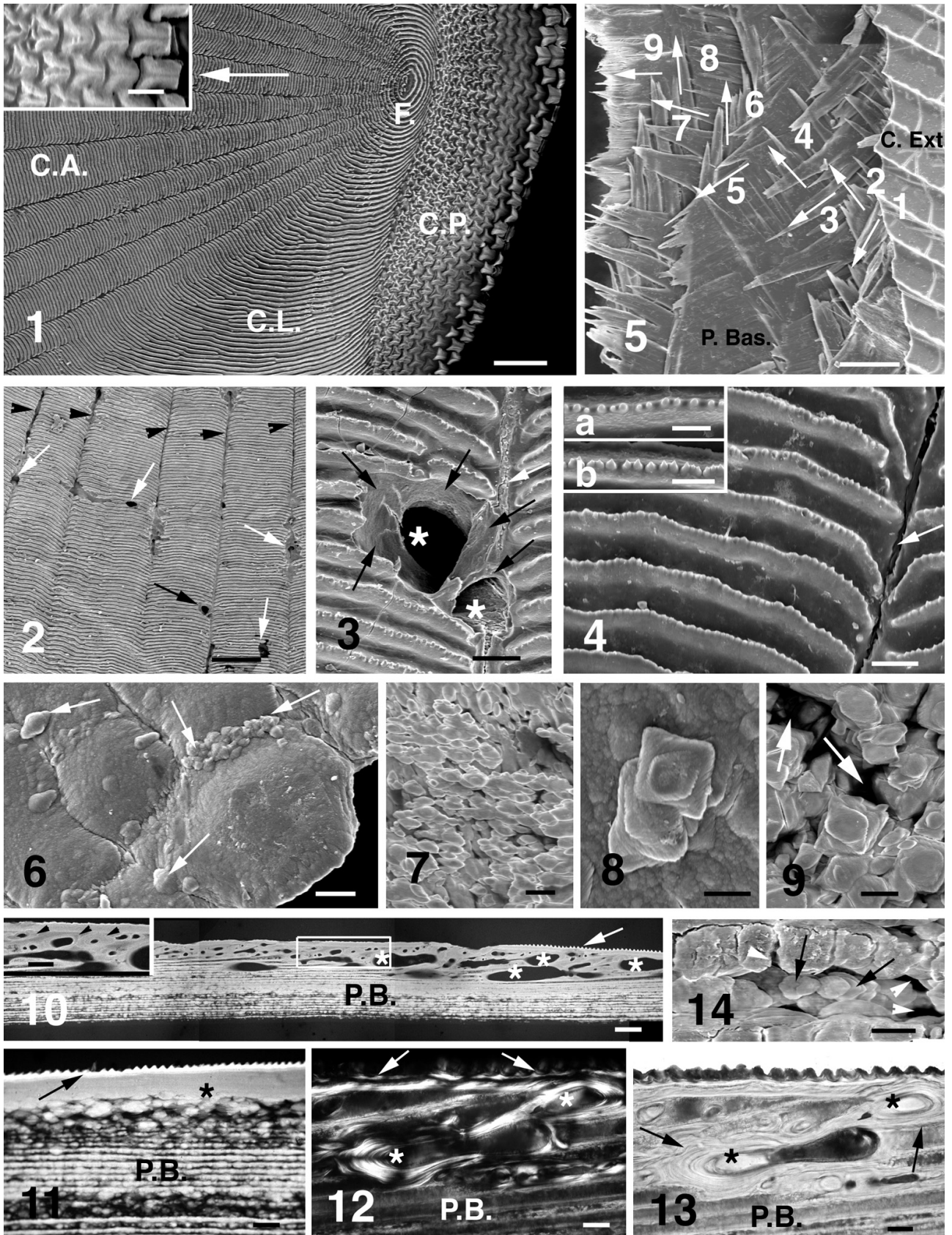


Figure 1. - Vue partielle d'une écaille (spécimen MNHN 2001-1358) montrant le bord postérieur crénelé (présence de *ctenii*) du champ postérieur (C.P.) et les ornements superficiels, circuli de la zone recouverte constituée du champ antérieur (C.A.) et d'un des deux champs latéraux (C.L.). Dix radii partent du foyer (F). La flèche indique la région antérieure de l'écaille (échelle = 200 μm). Dans l'encadré, 2 rangées de 5 *ctenii* alignés et emboîtés (échelle = 100 μm). [Partial view of a scale (specimen MNHN 2001-1358) showing the anterior crenulate margin (presence of *ctenii*) of the posterior field (C.P.) and the superficial ornamentations, the circuli of the overlapped zone constituted by the anterior field (C.A.) and one of the two lateral fields (C.L.). Ten radii start from the focus (F). The arrow points to the anterior direction of the scale (bar = 200 μm). The inset shows 2 series of 5 aligned and jointed *ctenii* (bar = 100 μm).]

Figure 2. - Détail de la région antérieure d'une écaille montrant les circuli concentriques, 5 radii (têtes de flèches noires) et quelques orifices de canaux vasculaires (flèches blanches). La flèche noire localise le détail de la figure 3 (échelle = 500 μm). [Detail of the anterior region of a scale showing the concentric circuli, 5 radii (black arrow heads) and some apertures of vascular canals (white arrows). The black arrow indicates the detailed region in figure 3 (bar = 500 μm).]

Figure 3. - Détail de deux pores vasculaires (étoiles) à la surface de l'écaille (voir flèche noire de la figure 2). La couche osseuse externe qui entoure les deux orifices est nettement érodée (flèches). L'un des deux pores est localisé juste sur un radius (flèche blanche) (échelle = 50 μm). [Detail of two vascular openings (stars) at the surface of scale (see black arrow of figure 2). The external bony layer that surrounds the two apertures is clearly resorbed (arrows). One of the two apertures is just localised on a radius (white arrow) (bar = 50 μm).]

Figure 4. - Agrandissement d'un secteur moyen du champ antérieur d'une écaille montrant la disposition régulière des circuli munis, à leur sommet, de denticules. Noter la présence d'un radius (flèche) caractérisé par une interruption complète de la couche superficielle. (échelle = 25 μm). Dans les deux encadrés, des détails des ornements situés au sommet des circuli : a) bord antérieur de l'écaille ; b) région moyenne du champ antérieur (échelles = 15 μm). [Magnification of the median anterior area of a scale showing the regular arrangement of the circuli with denticles at their tip. At the level of the radius (arrow) the superficial layer is lacking (bar = 25 μm). In the insets, details of the denticles at the tip of the circuli: a) anterior margin of the scale; b) median zone of the anterior field (bar = 15 μm).]

Figure 5. - Écaille fracturée dans l'azote liquide (MEB) montrant les strates de fibres de collagène formant la plaque basale (P. Bas.). Les flèches marquent la direction des fibrilles dans les strates successives (de 1 à 9) à partir de la couche externe (C. Ext.). On observe une légère rotation dextrogyre des deux directions principales qui caractérisent une organisation spatiale de type "contreplaqué intermédiaire" (voir texte) (échelle = 50 μm). [Scale frozen and broken in liquid nitrogen (SEM) showing the strata of collagenous fibres in the basal plate (P. Bas.). The arrows point the direction of fibres in the successive strata (from 1 to 9) starting from the external layer (C. Ext.). A weak right-handed rotation of the two main directions characterizes an "intermediate" plywood organization of the basal plate (see text) (bar = 50 μm).]

Figure 6. - Vue générale du front de minéralisation (MEB) de la plaque basale dans le champ antérieur (spécimen MNHN 2001-1358). Noter quelques corpuscules de Mandl (flèches) qui fusionnent à la surface régulière du front de minéralisation (échelle = 25 μm). [General view of the mineralizing front (SEM) of the basal plate in the anterior field (specimen MNHN 2001-1358). Some Mandl's corpuscles (arrows) merge each other above the smooth surface of the mineralizing front (bar = 25 μm).]

Figure 7. - Autre secteur plus central du front de minéralisation (MEB) de la plaque basale montrant de nombreux corpuscules de Mandl de forme ovoïde (échelle = 50 μm). [Another more central area of the mineralizing front (SEM) of the basal plate showing numerous ovoid Mandl's corpuscles (bar = 50 μm).]

Figure 8. - Détail du front de minéralisation (MEB) de la plaque basale montrant la fusion de deux corpuscules de Mandl de forme quadrangulaire (échelle = 25 μm). [Detail of the mineralizing front (SEM) in the basal plate showing two merging quadrangular Mandl's corpuscles (bar = 25 μm).]

Figure 9. - Détail du front de minéralisation (MEB) de la plaque basale, au voisinage du centre de l'écaille, montrant la fusion des corpuscules de Mandl de forme quadrangulaire entourés d'espaces totalement dépourvus de minéralisation (flèches) (échelle = 50 μm). [Detail of the mineralizing front (SEM) in the basal plate, at the vicinity of the focus, showing several quadrangular Mandl's corpuscles surrounded by unmineralized spaces (arrows) (bar = 50 μm).]

Figure 10. - Vue d'ensemble d'une coupe transversale (microradiographie) d'une écaille passant dans le champ postérieur. Noter, entre la couche externe (flèche) et la plaque basale (P.B.), de nombreuses cavités vasculaires, certaines de grand diamètre (étoiles) qui se développent nettement aux dépens des strates de la seconde (échelle = 500 μm). En haut à gauche, détail de l'encadré blanc montrant plusieurs ostéons secondaires limités par une ligne cimentante hyperminéralisée (têtes de flèches) (échelle = 275 μm). [General view of transverse section (microradiography) in the posterior area of a scale. Between the external layer (arrow) and the basal plate (P.B.), there are numerous vascular cavities; some of them are wide (stars) and they develop themselves at the expense of the strata of the basal plate (bar = 500 μm). At the upper left, a detail of the white square showing several secondary osteons limited by an hypermineralized cementing line (arrow heads) (bar = 275 μm).]

Figure 11. - Vue d'ensemble d'une coupe (microradiographie) transversale d'une écaille passant dans le champ antérieur. La couche externe (flèche noire) est plus minéralisée que la plaque basale (PB). Cette dernière est minéralisée sur pratiquement toute son épaisseur, de manière très homogène sur le premier quart (étoile), mais de nombreux secteurs restent plus ou moins dépourvus d'éléments minéraux dans les couches profondes, c'est-à-dire les plus récentes (échelle = 200 μm). [General view of transverse section (microradiograph) in the posterior area of a scale. The external layer (black arrow) is more mineralized than the basal plate (PB). This last one is practically mineralized on its whole thickness, in a very homogeneous manner on its first quarter (star); but numerous areas are more or less deprived of mineral components in the deepest strata, i.e. the more recent one (bar = 200 μm).]

Figure 12. - Détail d'une coupe transversale (lumière polarisée) d'une écaille passant dans le champ postérieur et montrant deux ostéons secondaires (étoiles) localisés entre la couche superficielle (flèches) et les strates de la plaque basale (P.B.) (échelle = 125 μm). [General view of transversal section (polarised light) in the posterior area of a scale and showing two secondary osteons (stars) between the superficial layer (arrows) and the strata of the basal plate (P.B.) (bar = 125 μm).]

Figure 13. - Même préparation que la précédente (lumière transmise). Les deux ostéons secondaires (étoiles) localisés entre la couche superficielle et les strates de la plaque basale (P.B.) sont limités par une ligne cimentante (flèches) (échelle = 125 μm). [Same preparation as Fig. 12 (transmitted natural light). The two secondary osteons (stars) located between the superficial layer and the strata of the basal plate (P.B.) are limited by a cementing line (arrows) (bar = 125 μm).]

Figure 14. - Tranche d'écaille (région postérieure) observée au MEB après destruction de la matrice organique non minéralisée. Remarquer les nombreux espaces vides autour des corpuscules de Mandl (flèches noires) dans l'épaisseur des strates de la plaque basale. (échelle = 20 μm). [A slice (posterior area) observed with SEM after removing the unmineralized organic matrix. There are numerous empty spaces around the Mandl's corpuscles (black arrows) in the thickness of the strata of the basal plate (bar = 20 μm).]

Ces structures sont considérées comme assurant une fonction d'accrochage de l'écaille dans la peau au moment de la nage (Burdak, 1979 ; Zylberberg et Meunier, 1981 ; Sire, 1985, 1986). L'organisation spatiale des fibrilles de collagène autour de deux directions principales soumises à une légère dérive dextrogyre permet de caractériser une organisation en un contre-plaqué de type intermédiaire (Meunier et Castanet, 1982 ; Meunier, 1987-88), très probablement liée ici, à la grande taille des écailles de l'espèce. Ces auteurs ont effectivement insisté sur la présence fréquente de ce type de contreplaqué chez les Perciformes à grandes écailles. Ce type d'organisation spatiale de la plaque basale, dépourvue d'élastocytes et avec son mode de minéralisation (corpuscules de Mandl) est typiquement celui de l'isopédine qui est fréquemment répandue même chez des espèces à os cellulaire comme, par exemple, les Cyprinidae (Meunier, 1984a, 1987). Les écailles de *M. altipinnis* sont donc bien des écailles élastoïdes. Toutefois, la présence de tissu osseux vascularisé entre la couche externe et la zone lamellaire de la plaque basale, d'une part, les particularités de la progression des corpuscules de Mandl, d'autre part, contribuent à les distinguer de la grande majorité des écailles élastoïdes (Schönborner *et al.*, 1981 ; Zylberberg *et al.*, 1992). À l'exception des écailles de la ligne latérale où de l'os peut se développer autour du système sensoriel, quand ils existent, les tissus osseux sont plutôt localisés dans la couche externe des écailles élastoïdes lorsqu'elle s'épaissit comme chez *Arapaima gigas* (Meunier 1984b) ou, encore, les balistes (Meunier 1983). La présence de tissu osseux caractéristique, sur tout ou partie de l'écaille (couche superficielle ornementée et plaque basale), a été décrite sur les écailles de thons (Meunier et Sire, 1981). Mais dans ce cas, deux lames osseuses séparées par de larges cavités se substituent totalement aux autres composants de l'écaille élastoïde après leur érosion préalable et ne se retrouvent pas entre couche externe et plaque basale (Meunier et Sire, 1981). Ici chez *M. altipinnis*, la couche externe semble conserver une épaisseur à peu près constante tout au long de la croissance du poisson.

Les seuls éléments vasculaires notables dans la plaque basale des écailles élastoïdes de certains Téléostéens sont des canaux "perforants" qui traversent l'épaisseur de celles-ci. Mais ils ne font pas l'objet d'un développement osseux local même réduit : cas de la carpe et de divers Characiformes (Meunier, obs. non publiées) ou des Osteoglossidae (Meunier, 1984b) ; ce sont alors de simples "tunnels". Chez *M. altipinnis*, le remplacement des strates d'isopédine par de l'os secondaire est un véritable phénomène de remaniement osseux (Ricqlès *et al.*, 1991 ; Meunier et François, 1992).

Quels peuvent être les facteurs qui contrôlent le remaniement osseux de la plaque basale des écailles de *M. altipinnis* ? Ce remaniement entraîne une remise en circulation d'éléments minéraux et organiques lors des processus d'érosion-

reconstruction. Le phénomène pourrait donc avoir une origine physiologique. Mais en l'état actuel de nos observations, il est impossible d'aller beaucoup plus loin dans les hypothèses. On sait que, dans certaines circonstances, les écailles sont de véritables réservoirs minéraux (Mugiya et Watabe, 1977) qui sont sollicités comme chez le saumon au cours de sa remontée génésique en rivière (Van Someren, 1937 ; Crichton, 1935 ; Persson, 1997 ; Kacem *et al.*, 1998). Mais l'érosion conduisant au relargage des éléments minéraux dans la circulation sanguine, se fait indifféremment sur les deux parties de l'écaille (Kacem, 2000). Pour être juste on peut même dire que c'est la couche externe qui est attaquée en premier. Lorsque les écailles reprennent leur croissance, si le saumon survit à la phase de reproduction, il y a "régénération" des deux couches typiques de l'écaille et non dépôt d'os en son sein. Mais il faut remarquer que la taille des écailles du saumon est nettement plus petite, à longueur corporelle égale des spécimens, que celle des écailles de *Micropogonias*. Pour pouvoir aller plus loin dans les hypothèses explicatives, il nous faudrait donc des connaissances sur d'autres paramètres physiologiques des poissons en question, ce qui n'est pas le cas.

Remerciements. - Nous remercions Christiane Chancogne pour son aide technique dans la réalisation des observations au MEB (Laboratoire de Paléontologie, MNHN Paris).

RÉFÉRENCES

- BÉAREZ P., 1997. - Las piezas esqueléticas diagnósticas en arqueoictiología del litoral ecuatoriano. *Bull. Inst. Fr. études andines*, 26: 11-20.
- BERTIN L., 1944. - Modifications proposées dans la nomenclature des écailles et des nageoires. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 69: 198-202.
- BERTIN L., 1958. - Ecailles et scérifications dermiques. *In: Traité de Zoologie* (Grassé P.P., éd.), 13: 482-504. Paris: Masson.
- BURDAK V.D., 1979. - Morphologie fonctionnelle du tégument écailléux des poissons. *In: La Pensée Scientifique* (ed), Kiev, (en russe). French translation, *Cybium*, (1986), 10(3) suppl.: 1-147.
- CHAO N.L., 1986. - A synopsis on zoogeography of the Sciaenidae. *In: Indo-Pacific Fish Biology* (Uyeno T., Arai R., Taniuchi T. & K. Matsuura, eds), pp. 570-589. Tokyo: Ichthyological Society of Japan
- CHAO N.L., 1995. - Sciaenidae. *In: Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico centro-oriental* (Fisher W. *et al.*, eds), Vol. 3: 1427-1518.
- CRICHTON M.I., 1935. - Scale-absorption in salmon and sea trout. *Fish. Brd. Scot., Salm. Fish.*, 4: 1-8.
- FOUDA F.F., 1979. - Studies on scale structure in the common goby *Pomatoschistus microps* Krøyer. *J. Fish Biol.*, 15: 173-183.
- GOODRICH E.S., 1907. - On the scales of fish living and extinct, and their importance in classification. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 2: 751-774.

- KACEM A., 2000. - Transformations morphologiques et histologiques du squelette du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) au cours de son cycle vital. Thèse Muséum national d'Histoire naturelle, 136 p. Paris.
- KACEM A., MEUNIER F.J. & J.L. BAGLINIÈRE, 1998. - A quantitative study of morphological changes in the skeleton of *Salmo salar* during its anadromous migration. *J. Fish Biol.*, 53: 1096-1109.
- KÖLLIKER A., 1859. - On the different types in the microscopic structure of the skeleton of osseous fish. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, 9: 656-688.
- LANZING W.J.R. & D.R. HIGGINBOTHAM, 1974. - Scanning microscopy of surface structure of *Tilapia mossambica* (Peters) scales. *J. Fish Biol.*, 6: 307-310.
- MEUNIER F.J., 1980. - Les relations isopédine-tissu osseux dans le post-temporal et les écailles de la ligne latérale de *Latimeria chalumnae* (Smith). *Zool. Scripta*, 9: 307-317.
- MEUNIER F.J., 1983. - Les tissus osseux des Osteichthyens : structure, genèse, croissance et évolution. Archives et documents, Micro-édition, *Inst. Ethnol. Mus. Nat. Hist. Nat.*, SN-82-600-328, 200 p.
- MEUNIER F.J., 1984a. - Spatial organization and mineralisation of the basal plate of elasmoid scales in Osteichthyans. *Am. Zool.*, 24: 953-964.
- MEUNIER F.J., 1984b. - Structure et minéralisation des écailles de quelques Osteoglossidae (Ostéichthyens, Téléostéens). *Ann. Sci. Nat., Zool.*, 13^e série, 13: 111-124.
- MEUNIER F.J., 1987. - Os cellulaire, os acellulaire et tissus dérivés chez les Osteichthyens : les phénomènes de l'acellularisation et de la perte de la minéralisation. *Ann. Biol.*, 26: 201-233.
- MEUNIER F.J., 1987-88. - Nouvelles données sur l'organisation spatiale des fibres de collagène de la plaque basale des écailles des Téléostéens. *Ann. Sci. Nat., Zool.*, 13^e série, 9: 113-121.
- MEUNIER F.J., 1997. - Structure et minéralisation des écailles de quelques Characiformes de Guyane française. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 27 (1994): 407-422.
- MEUNIER F.J. & J. CASTANET, 1982. - Organisation spatiale des fibres de collagène de la plaque basale des écailles des Téléostéens. *Zool. Scripta*, 11: 141-153.
- MEUNIER F.J. & Y. FRANÇOIS, 1992. - Croissance du squelette chez les Téléostéens. I. Squelette, os, tissus squelettiques. *Ann. Biol.*, 31 : 169-184. II. La croissance du squelette. *Ann. Biol.*, 31: 185-219.
- MEUNIER F.J. & J.Y. SIRE, 1981. - Sur la structure et la minéralisation des écailles du germon *Thunnus alalunga* Bonaterre 1788 (Téléostéen, Scombridae). *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 106: 327-336.
- MUGIYA Y. & N. WATABE, 1977. - Studies on fish scale formation and resorption. II. Effect of estradiol on calcium homeostasis and skeletal tissue resorption in the goldfish, *Carassius auratus*, and the killifish, *Fundulus heteroclitus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 57A: 197-202.
- PERSSON P., 1997. - Calcium regulation during sexual maturation of female salmonid: Estradiol-17b and calcified tissues. (Department of Physiology, ed.), Göteborg University (in Swedish).
- RICQLÈS A. (de), MEUNIER F.J., CASTANET J. & H. FRANÇILLON-VIEILLOT, 1991. - Comparative microstructure of bone. In: Bone (Hall B.K., ed.), 3: 1-77. Boca Raton: CRC Press.
- SCHÖNBÖRNER A.A., MEUNIER F.J. & J. CASTANET, 1981. - The fine structure of calcified Mandl's corpuscles in Teleost fish scales. *Tissue Cell*, 13: 589-597.
- SIRE J.Y., 1985. - Fibres d'ancrage et couche limitante externe à la surface des écailles du Cichlidae *Hemichromis bimaculatus* (Téléostéen, Perciforme) : données ultrastructurales. *Ann. Sci. Nat., Zool.*, 13^e série, 7: 163-180.
- SIRE J.Y., 1986. - Ontogenic development of surface ornamentation in the scales of *Hemichromis bimaculatus* (Cichlidae). *J. Fish Biol.*, 28: 713-724.
- SIRE J.Y., 1987. - Structure, formation et régénération des écailles d'un poisson téléostéen, *Hemichromis bimaculatus* (Perciforme, Cichlidé). Thèse de doctorat ès-Sciences, Paris. Archives et Documents, Micro-Edition, Institut d'Ethnologie, Muséum national d'Histoire naturelle, SN87-600449, 262 p.
- SIRE J.Y. & F.J. MEUNIER, 1981. - Structure et minéralisation de l'écaille d'*Hemichromis bimaculatus* (Téléostéen, Perciforme, Cichlidé). *Arch. Zool. exp. gén.*, 122: 133-150.
- VAN SOMEREN V.D., 1937. - A preliminary investigation into the causes of scale absorption in Salmon, *Salmo salar* L., *Fish. Brd. Scot., Salm. Fish.*, 11: 1-11.
- YAMADA J. & N. WATABE, 1979. - Studies on fish scale formation and resorption. I. Fine structure and calcification of the scales in *Fundulus heteroclitus* (Atheriniformes: Cyprinodontidae). *J. Morphol.*, 159: 49-66.
- ZYLBERBERG L., GÉRAUDIE J., MEUNIER F.J. & J.Y. SIRE, 1992. - Biomineralization in the integumental skeleton of the living lower Vertebrates. In: Bone (Hall B.K., ed.), 4: 171-224, Boca Raton: CRC Press.
- ZYLBERBERG L. & F.J. MEUNIER, 1981. - Evidence of denticles and attachment fibres in the superficial layer of scales in two fishes: *Carassius auratus* L. and *Cyprinus carpio* L. (Cyprinidae, Teleost). *J. Zool. Lond.*, 195: 459-471.