

La couche la plus externe de l'émail. Etude comparative en microscopie électronique à balayage

RODDE, J.

Faculté d'Odontologie de Lyon, rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08 (France).

RÉSUMÉ

La couche de surface de l'émail a été observée, en M.E.B., chez quelques espèces représentatives du règne animal. Nous avons étudié l'organisation structurale de l'émail en surface et subsurface. La couche superficielle de l'émail a été, souvent, qualifiée d'« aprismatique ». Pourtant, chez de nombreux mammifères les prismes atteignent, presque toujours, la limite externe de la couche d'émail où ils sont alignés perpendiculairement à la surface. Le terme « aprismatique » nous paraît donc impropre. La couche de surface constitue, néanmoins, une entité structurale et physico-chimique. Sa répartition sur les surfaces dentaires permet d'expliquer les résultats variables obtenus lors du mordantage de l'émail.

MOTS CLEFS:

Email animal et humain - Couche de surface - Microscopie électronique à balayage

SUMMARY

The surface of the enamel layer was scanned in teeth of some representative animal species. We studied the structural organization of enamel at the surface of the teeth and also in subsurface. The surface layer was often described as « aprismatic ». But, nevertheless, in mammals, prisms often reach the surface. They are packed together almost perpendicular to the periphery. The term « aprismatic » seems inappropriate. But the surface layer is particular in both a structural, physical and chemical standpoint. Its distribution on the enamel surfaces explains the variability of the etching patterns from an area to another on the same tooth.

KEY WORDS:

Animal and human enamel - Surface layer - Scanning electron microscopy

INTRODUCTION

Il existe une grande disparité dans les descriptions de la couche superficielle de l'émail. Chez les Poissons, la nature et la structure de l'émail soulèvent de nombreux problèmes qui ne sont que partiellement résolus (Lison, 1954). Ainsi, pour l'ordre des Séla-ciens, les controverses sont encore vives. Certains auteurs pensent que le tissu dur de recouvrement est une « vitrodentine » ou encore de l'énaméloïde (Orvig, 1967) car la minéralisation, en son stade initial, s'effectue par des mécanismes de nucléation avec une croissance des cristallites en présence d'une trame

collagénique. L'analyse chimique a montré la présence d'une concentration élevée de fluoroapatite par rapport à l'émail vrai des vertébrés tétrapodes. Se basant sur les caractères structuraux Lison (1954) et Glas (1962) considèrent qu'il s'agit là véritablement d'émail. Selon Lison (1954), dans le sous-ordre des Téléostéens, la présence d'émail est la règle; il apparaît généralement homogène et sans structure. Pour Orvig (1967), il s'agirait d'énaméloïde, tissu qui acquiert dans ce sous-ordre une certaine épaisseur. A partir de la classe des Reptiles, les dents sont recouvertes d'émail vrai. L'aspect morphologique

varie selon l'épaisseur de la couche. Selon Marcus et Schulte (1931), quand l'émail est mince il apparaît homogène et sans structure. Lorsque la couche est plus épaisse, les cristallites de la partie externe s'organisent sous forme de prismes perpendiculaires à la surface de la dent.

A la surface de l'émail humain Thewlis, dès 1937, note la présence d'une couche apparemment amorphe qui sera qualifiée d'«aprismatique» par Gwinnett (1966, 1967) et Ripa et coll., 1966. Goldberg et coll., 1978, définissent ainsi la couche aprismatique: «... sur des dents humaines fracturées dans le sens longitudinal on observe au niveau de la sub-surface une disparition des bandes interprismatiques». Pour Marshall et coll. (1975) et Whittaker (1982), elle correspond à: «la zone située à la surface des dents humaines dans laquelle on ne peut distinguer clairement les limites interprismatiques».

Selon les auteurs, la fréquence et l'épaisseur de cette couche «aprismatique» sont très variables. On note également une disparité dans sa répartition entre les dentures temporaire et permanente. Ripa et coll. (1966); Marshall et coll. (1975); Jordan et coll. (1977); Silverstone (1982) et Whittaker (1982) constatent une fréquence plus importante de l'émail «aprismatique» en denture temporaire. La répartition pourrait varier selon l'arcade considérée: Martens et coll. (1985) l'ont observé plus fréquemment sur les dents du maxillaire supérieur que pour les dents inférieures. La distribution de cette couche d'émail «aprismatique» varie aussi, selon Haïkel et Frank (1982) et Whittaker (1982) d'un groupe dentaire à l'autre; ils l'ont observée plus fréquemment au niveau des incisives, canines et prémolaires qu'au niveau molaire. Enfin, sur une même dent, la répartition varie selon la face considérée (Whittaker, 1982) et, sur une même face dentaire, selon la hauteur coronaire (Gwinnett, 1966, 1967; Silverstone, 1970; Newman et Poole, 1974; Hørsted et coll., 1976; Whittaker, 1982; Carrassi et coll., 1986).

Sur le plan morphologique cette couche «aprismatique» est d'aspect homogène en denture temporaire (Ripa et coll., 1966) et peut présenter des stries parallèles entre elles et à la surface externe (en pelure d'oignon) en denture permanente (Whittaker, 1982)

Les fréquences de couche «aprismatique» observées par Ripa et coll. (1966) semblent être de plus en plus remises en cause. Ces variabilité et controverses nous ont conduit à étudier, en microscopie électronique à balayage (M.E.B) la couche superficielle de l'émail humain et d'un certain nombre d'espèces animales. Chez les mammifères nous avons surtout observé la

disposition des prismes en utilisant la classification morphologique établie par Boyde (1965). Celle-ci tient compte de la forme des prismes, en coupe transversale, ainsi que des degrés de minéralisation entre prismes et «substance inter-prismatique». Lorsque l'émail est prismatique, nous avons observé, tout particulièrement, la couche superficielle pour vérifier si les prismes atteignent la surface externe de la dent ou si leur trajet s'interrompt, en sub-surface, avec présence d'une couche «aprismatique».

MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATÉRIELS:

1) *Dents animales, époque actuelle:*

Nous avons observé quelques échantillons de dents des espèces et familles suivantes:

- Requin, classe des Poissons, super-ordre des Elasmobranches, ordre des Sélaciens, infra-ordre des Squaloïdes ou Requins.
- Brochet, classe des Poissons, super-ordre des Téléostéens, infra-ordre des Haplomes, espèce brochet.
- Crocodile, classe des Reptiles, ordre des Crocodyliens.
- Ecureuil, classe des Mammifères, ordre des Rongeurs, infra-ordre des Sciuriformes (simplicidentés), famille des Sciuridés.
- Lapin, classe des Mammifères, ordre des Lagomorphes (duplicidentés) espèce lapin.
- Hérisson, classe des Mammifères, ordre des Insectivores, famille des Erinacéidés, genre *Erinaceus*.
- Chien, classe des Mammifères, ordre des Carnivores, famille des canidés, genre *canis*.
- Sanglier, classe des Mammifères, ordre des Ongulés, infra-ordre des suiformes, famille des Suidés.

2) *Dents animales, Rongeurs fossiles:*

- Theridomorphe: une molaire (étant donnée la rareté des échantillons nous n'avons pu obtenir qu'un seul échantillon),
- *Cricetidae*: le nombre des échantillons, pour chaque famille ou espèce étudiée, est présenté Tableau I.

3) *Dents humaines, époque actuelle:*

- Denture temporaire: 43 échantillons (12 incisives, 17 canines, 13 molaires),
- Denture permanente: 88 échantillons.

Tableau I
Dents de Cricetidae étudiées.

échantillons	espèce	gisement	datation
16 mol. sup. 5 Inc. sup.	<i>Ruscinomys europaeus</i>	Layna (Soria) E.	3 m.a Pliocène moyen
6 mol. sup 5 Inc. sup.	<i>Ruscinomys schaubi</i>	Aljezar (Teruel) E.	7 à 8 m.a Turolien moyen
5 mol.	<i>Hispanomys peralensis</i>	Cucalon (Aragon) E.	10 m.a Vallésien terminal
6 mol.	<i>Rotundomys montisrotundi</i>	Montredon F.34.	10 m.a Vallésien terminal
9 mol.	<i>Cricetodon albanensis</i>	La Grive F.38.	13 m.a Miocène moyen (Astaracien)
8 mol.	<i>Cricetodon meini</i>	Vx Collonges F.69.	17 m.a Miocène moyen (Orléanien)
4 mol.	<i>Eucricetodon aquitanicus</i>	Bouzigues F.34.	20 m.a Miocène inférieur (Agénien)

MÉTHODES

Nettoyage des dents: elles ont été brossées sous eau courante puis passées quelques minutes, dans l'eau distillée, aux ultra-sons.

Deshydratation:

Les dents fossiles incluses dans des roches sédimentaires depuis des millions d'années ne nécessitent pas de temps de deshydratation.

Les dents actuelles (animales ou humaines) ont été deshydratées par passages dans des bains d'alcool et d'acétone de concentrations croissantes.

Inclusion: les échantillons de petite taille, en particulier les dents fossiles, ont été inclus dans une résine autopolymérisable (Sody 33. ESCIL. Bron France), la surface dentaire à observer étant provisoirement protégée par une fine couche de cire.

Polissage: les coupes ont été polies, à la main, sur des papiers abrasifs de grain de plus en plus fin (Norton Tufback Durite T 444, T 421; grain 400 à 1000). Les plans de fracture n'ont subi aucune préparation mécanique.

Mordançage: Les dents de requin, crocodile, chien, sanglier ont été mordancées pendant 30 secondes avec une solution d'acide chlorhydrique dans l'eau distillée titrant 0,05 N. Cet agent de mordançage étant largement utilisé pour l'étude en M.E.B de l'ultrastucture amélaire par les paléontologistes (Gantt 1977, 1980; Flynn 1978, 1982; Carlson et Krause, 1985).

Les autres échantillons ont été mordancées, pendant 1 minute, avec une solution d'acide phosphorique 50% vol. (dans l'eau distillée). Cet acide, largement utilisé en clinique pour la préparation de l'émail avant collage, étant désormais souvent utilisé par les paléontologistes.

Métallisation: la surface à observer est recouverte d'une fine couche d'or (épaisseur 20 nm). Cette pulvérisation se fait par la technique de pulvérisation cathodique; l'appareil utilisé est un JEOL JFC 1100.

Observation en M.E.B.:

Le microscope utilisé est un JEOL JSM 35 C dont le pouvoir de résolution est de 7 nm. Nous avons travaillé sous une tension de 15 kV.

RÉSULTATS:

Email animal:

Dent de requin (Fig. 1). Les unités de minéralisation ou globules sont accolés pour former des pseudoprismes. A la surface de la dent ces globules sont parfaitement alignés perpendiculairement à la limite externe.

Dent de brochet (résultat non présenté).

L'énaméloïde présente un aspect morphologique homogène et sans structure. Certaines zones présentent des stries parallèles entre elles et aux limites de la couche d'«émail» (surface externe et limite «émail»-dentine).

Dent de crocodile (Fig. 2). Pour cet échantillon, l'épaisseur de la couche d'émail est de 130 μ m. Les globules de minéralisation sont organisés en pseudoprismes perpendiculaires à la surface externe de la dent. Il n'y a pas de couche amorphe en surface.

Dent de sanglier (Fig. 3). Email de type 2 selon la classification de Boyde; les prismes bien visibles atteignent la surface externe de la dent.

Dent de hérisson (Fig. 4). Email de type 1 selon la classification de Boyde, là encore pas de couche aprismatique de surface.

Rongeurs (Fig. 5) et *Lagomorphes* (lapin; Fig. 6). Nous n'avons, sur aucun des échantillons, trouvé de couche «aprismatique» de surface que l'émail soit uniformément radial ou organisé en deux couches (émail unisériel pour la couche interne, côté limite émail-dentine, émail radial pour la couche externe).

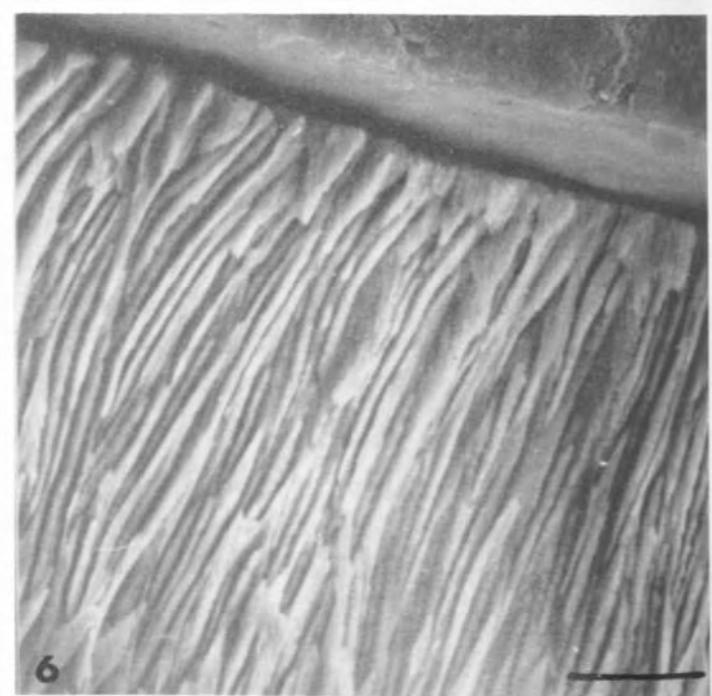
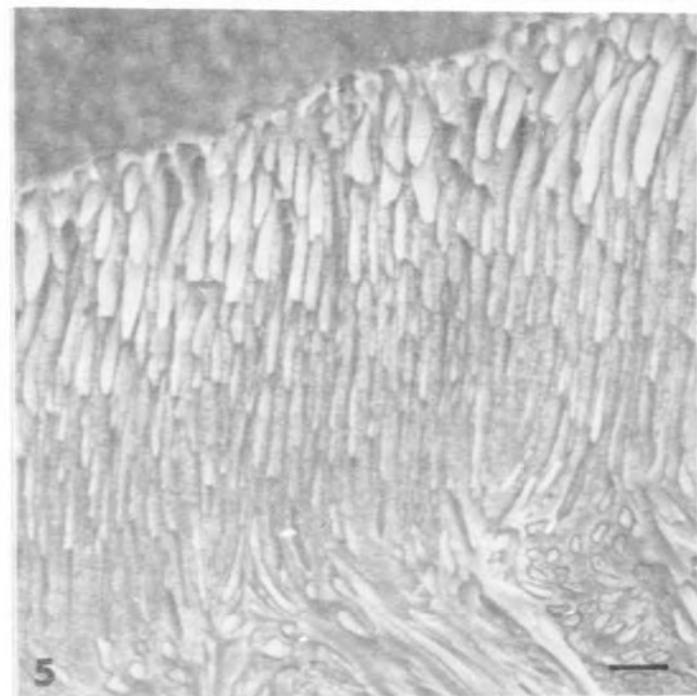
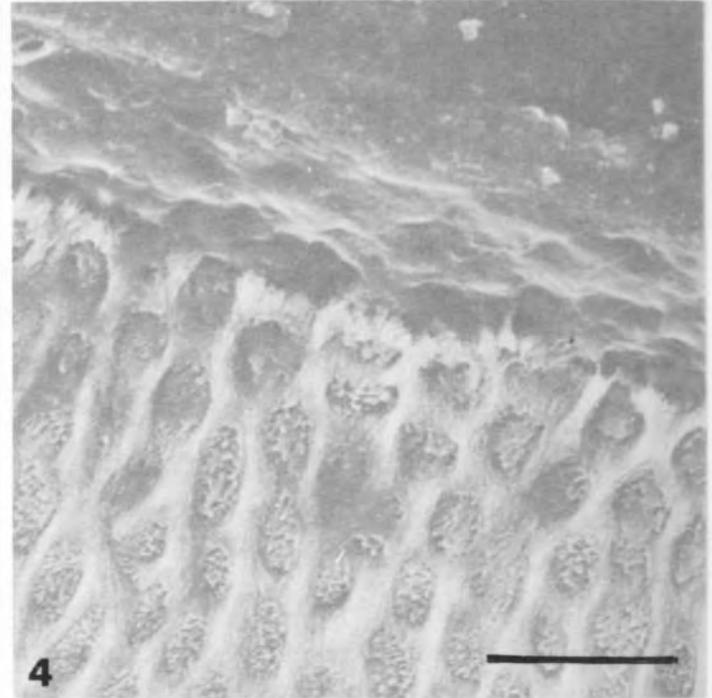
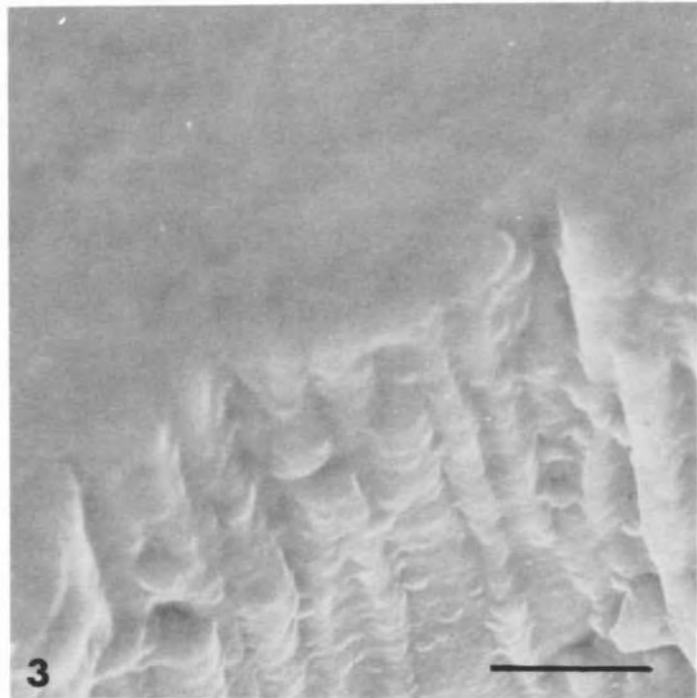
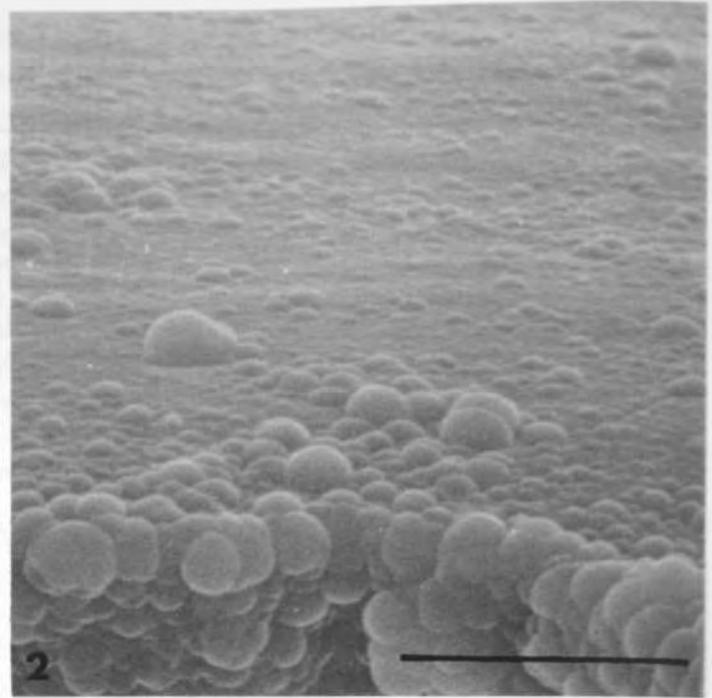
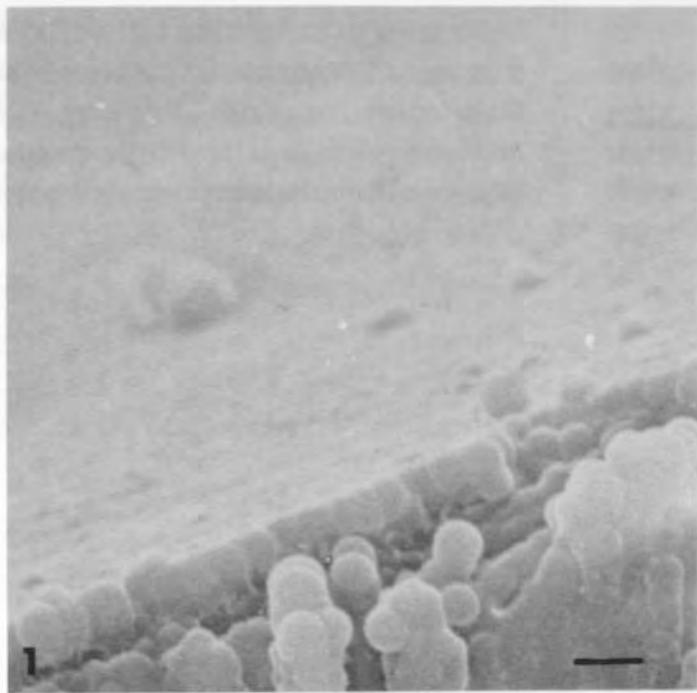




Fig. 1: Email de requin. Les globules minéralisés s'organisent perpendiculairement à la surface externe de la dent. X 700
Fig. 1: Shark enamel. The mineralized corpuscles are organized almost perpendicular to the external surface. X 700



Fig. 2: Email de crocodile. Les globules minéralisés s'organisent en pseudo-prismes (Vorprisms) bien visibles au niveau de la surface externe. X 2860.
Fig. 2: Crocodile enamel. The mineralized corpuscles are organized in prism-like structures (Vorprisms) which are clearly visible at the enamel surface. X 2860.

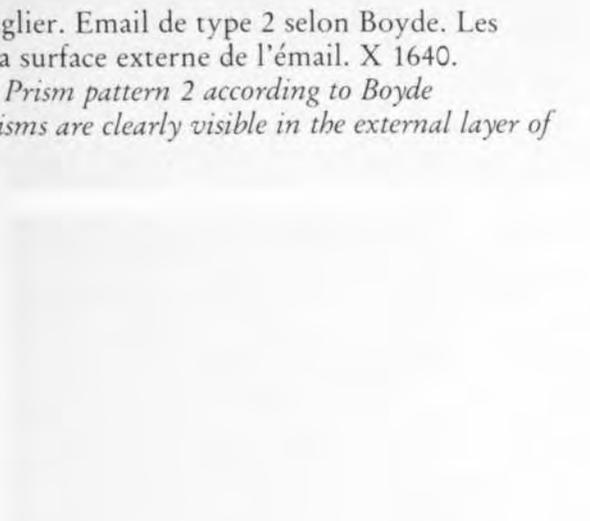


Fig. 3: Email de sanglier. Email de type 2 selon Boyde. Les prismes atteignent la surface externe de l'émail. X 1640.
Fig. 3: Boar enamel. Prism pattern 2 according to Boyde classification. The prisms are clearly visible in the external layer of the enamel. X 1640.

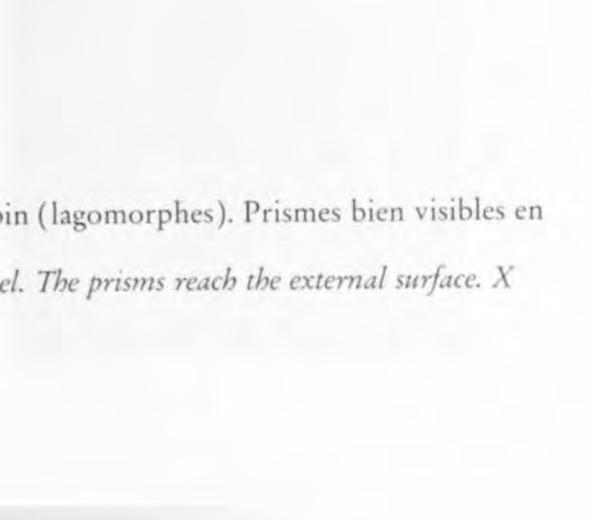


Fig. 4: Email de hérisson. Email de type 1 selon la classification de Boyde. Les prismes sont bien visibles dans la partie externe de la couche d'émail. X 1920.
Fig. 4: Hedgehog enamel. Prism pattern 1 according to Boyde classification. The prisms are clearly visible in the external layer of the enamel. X 1920.



Fig. 5: Email de lapin (lagomorphes). Prismes bien visibles en surface. X 575.
Fig. 5: Rabbit enamel. The prisms reach the external surface. X 575.



Fig. 6: *Cricetodon meini*. Les prismes sont nettement visibles à la limite externe de la dent. X 1380.
Fig. 6: Cricetodon meini (fossil rodent). The prisms are visible in all their path between the D.E.J. (dentino enamel junction) and the external surface.

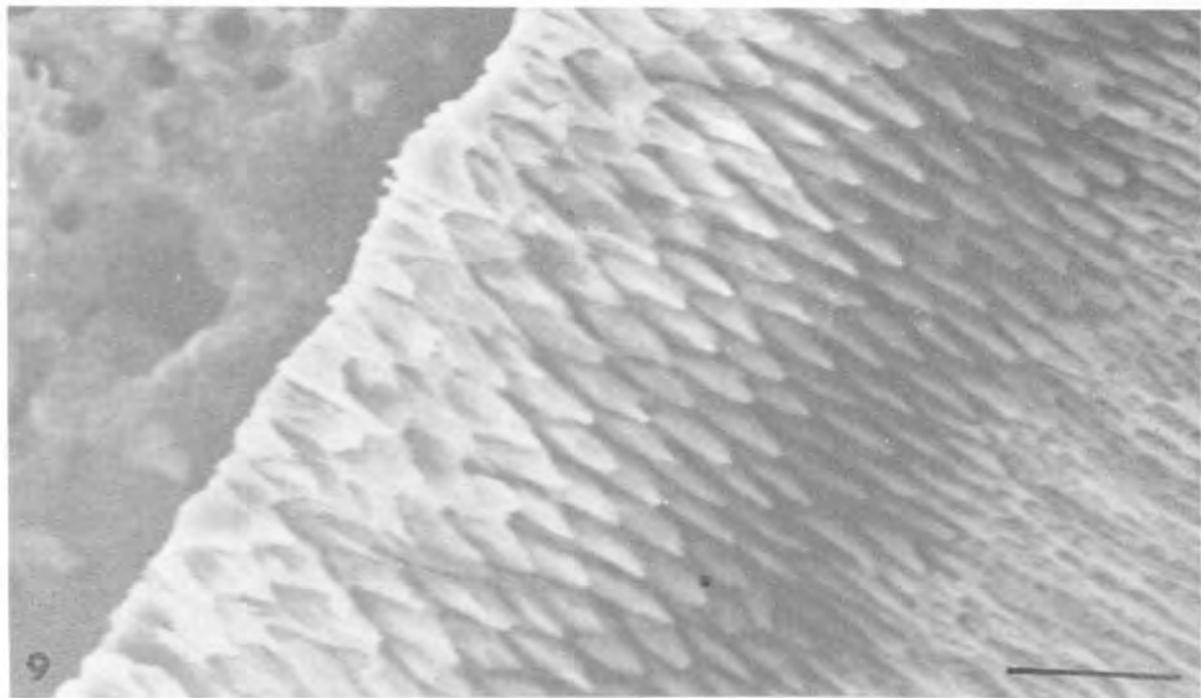
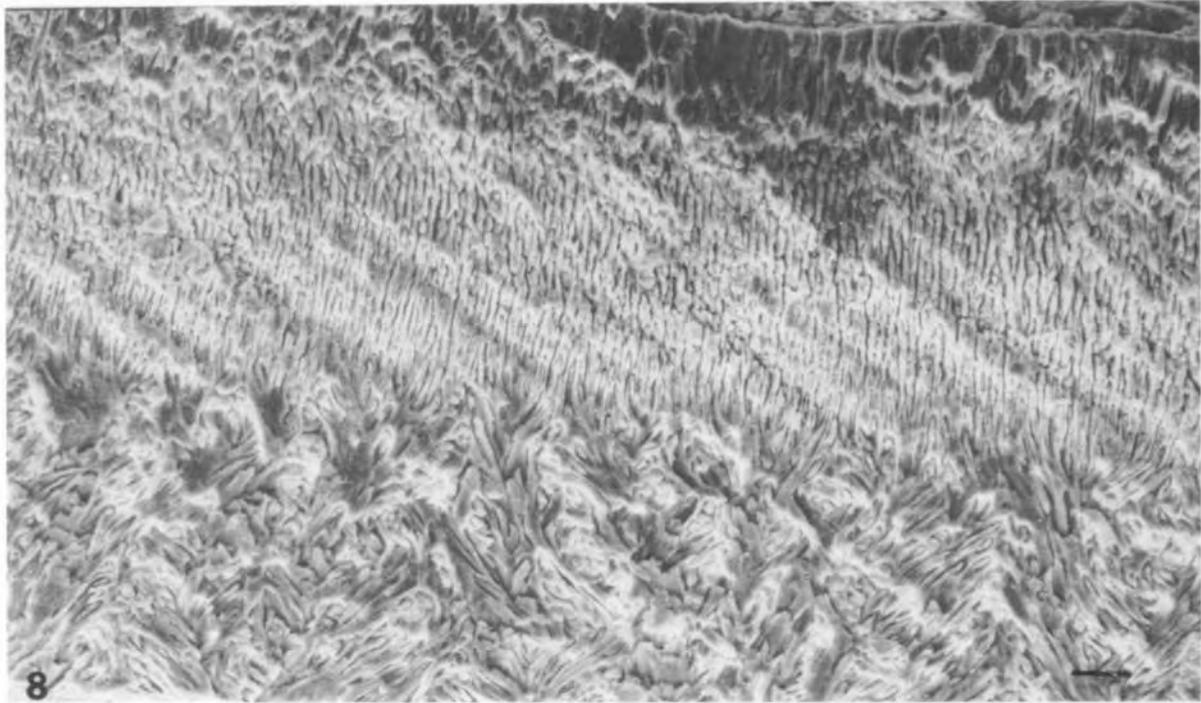
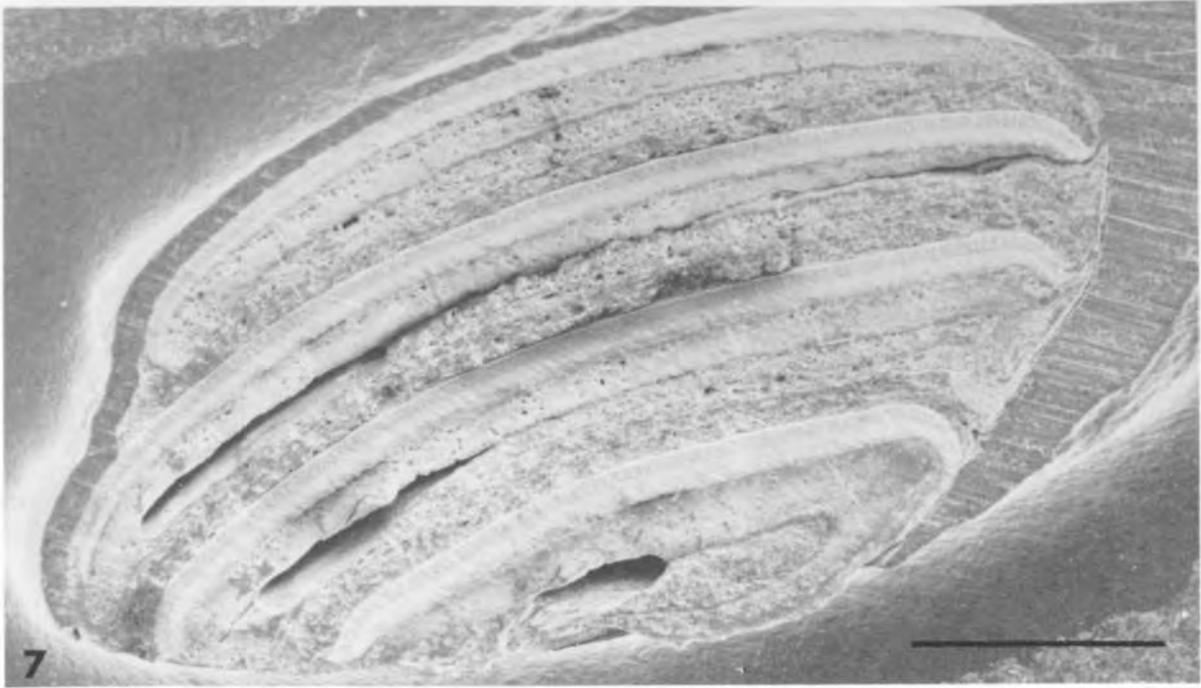




Fig. 7: Molaire de Theridomorphe. Vue générale de la surface triturante. La structure est de type téniodonte (lamelles accolées). X 25.

Fig. 7: Theridomorpha molar. General view of the abraded occlusal surface. X 25.



Fig. 8: La disposition des prismes d'émail est semblable pour les quatre lamelles que présente cette molaire. Cette photographie est celle de la lamelle située en haut, sur la figure précédente. Dans la portion la plus externe de la couche d'émail les prismes sont bien visibles en surface. X 550.

Fig. 8: The structural organization in the enamel layers is the same for the four layers present in this molar. In Fig. 8 we can see the layer which is located in the upper part of the teeth in Fig. 7. The prisms are clearly visible in surface. X 550.



Fig. 9: Pas de couche « aprismatique » de surface sur la lamelle située au bord externe de la dent. X 1730.

Fig. 9: The prisms reach the external surface. There is no « aprismatic » surface layer but, almost all the prisms were broken during polishing during the sample preparation. X 1730.

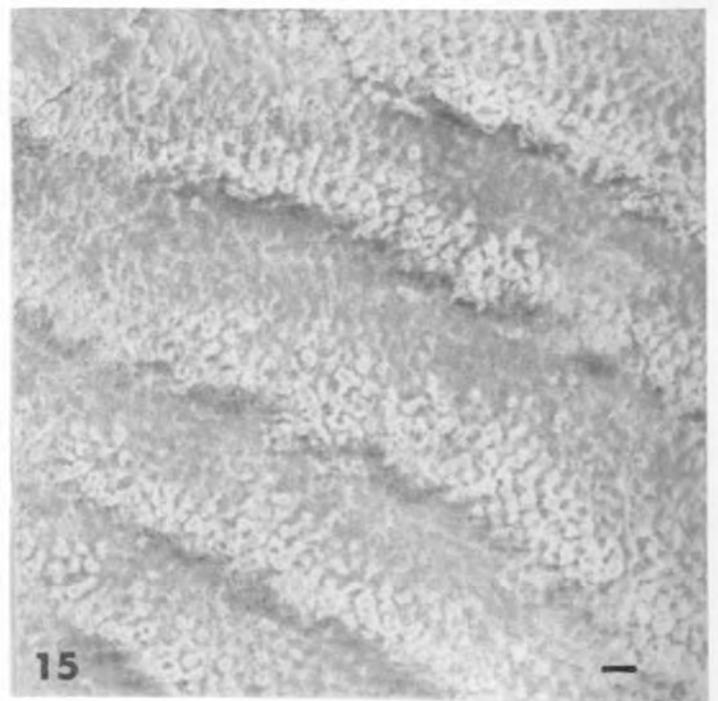
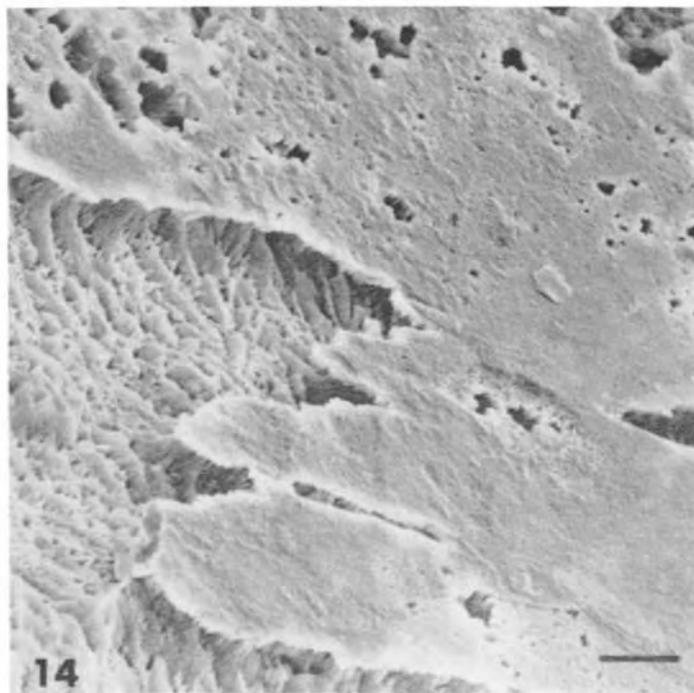
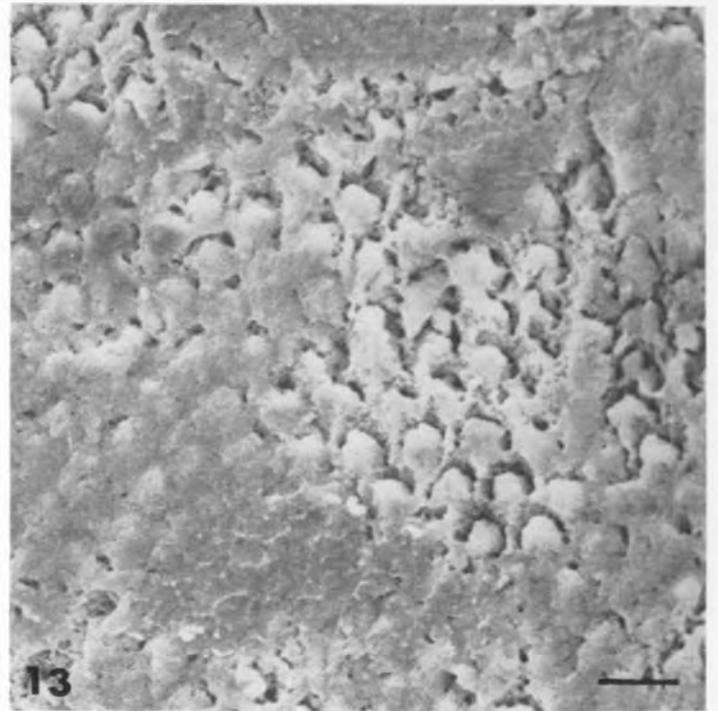
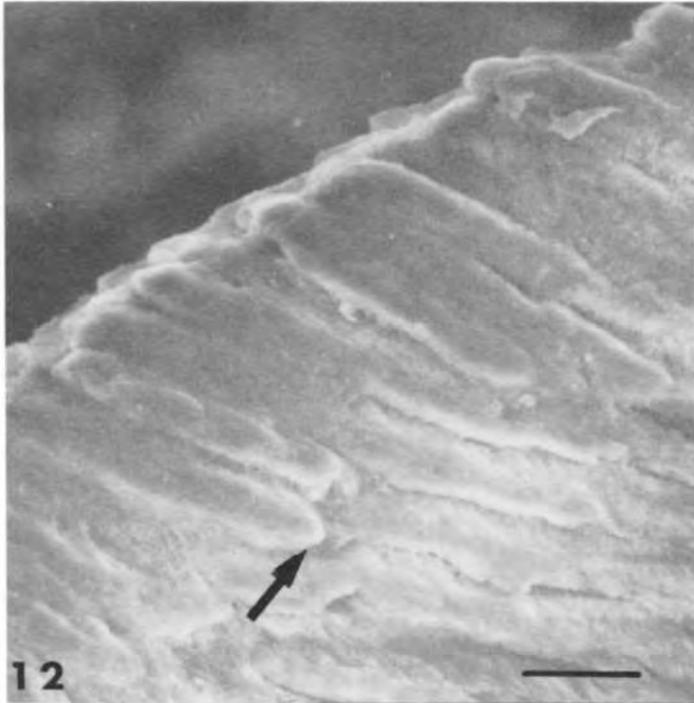
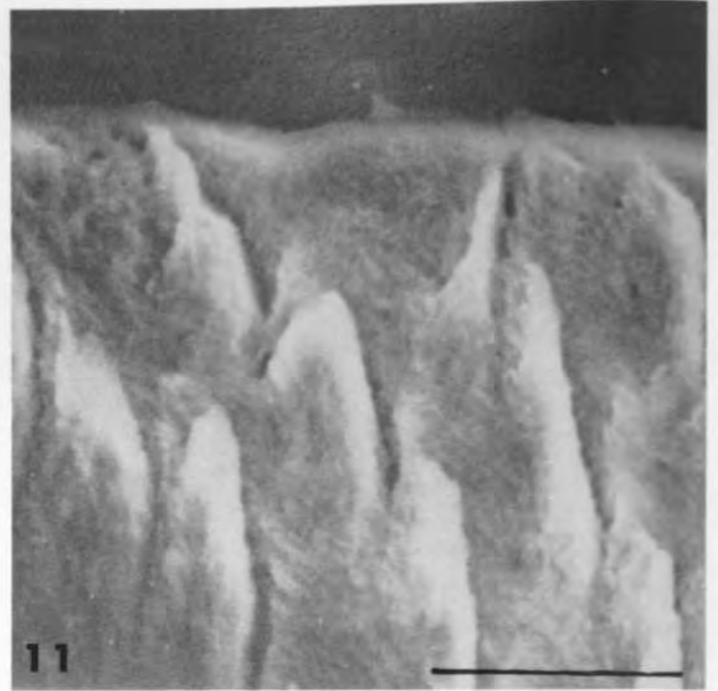
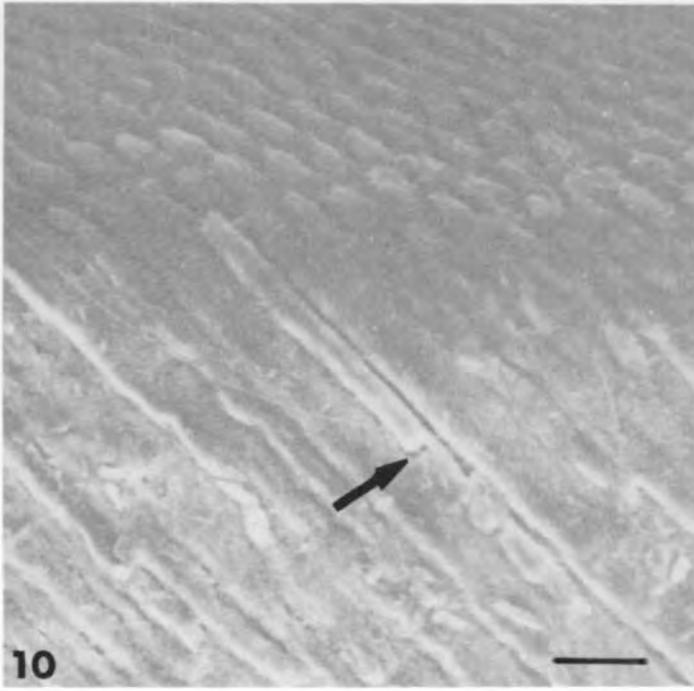


Fig. 10: Email d'une incisive temporaire humaine. Vue de la surface et d'une coupe longitudinale en profondeur. Les prismes sont bien visibles en surface. Pas de couche «aprismatique».

X 900.
Fig. 10: Enamel from a human deciduous incisor. We can see the prisms present at the surface in a longitudinal section. There is no «aprismatic» layer. X 900.

Fig. 11: Email humain d'une dent temporaire. Certains prismes atteignent la surface externe de la dent. X 2500.

Fig. 11: Human enamel from a deciduous tooth. Some prisms reach the external surface. X 2500.

Fig. 12: Email de dent temporaire humaine. Les prismes inclinés à 45° par rapport à la surface externe sont nettement visibles dans leur portion terminale. X 1200.

Fig. 12: Human enamel from a deciduous tooth. The prism form a 45° angle with the external surface. They are clearly visible in their terminal path. X 1200.

Fig. 13: Surface de l'émail d'une canine temporaire. L'émail, en surface, a été attaqué différemment selon les zones par l'acide (H_3PO_4 , 50% vol., 1 mn). X 800.

Fig. 13: Surface from a human deciduous canine. We can see variations in the acid-etch pattern of the enamel surface (H_3PO_4 , 50% vol., 1 min.). X 800.

Fig. 14: Email de dent temporaire humaine. Alternance de zones très mordancées et de zones relativement indemnes. Le mordantage détruit une couche d'émail d'environ 10 μm . X 770.

Fig. 14: Enamel surface from a human deciduous tooth. We can observe some portions in the enamel surface which resisted very well to the acid etch technique and contiguous parts which are very attacked. X 770.

Fig. 15: Sur cette prémolaire jeune la mise à nu des prismes par la solution de mordantage suit le trajet des périkématies. X 310. On this young premolar pits corresponding prisms which reach the surface are clearly visible on the perikemata ridges. X 310.

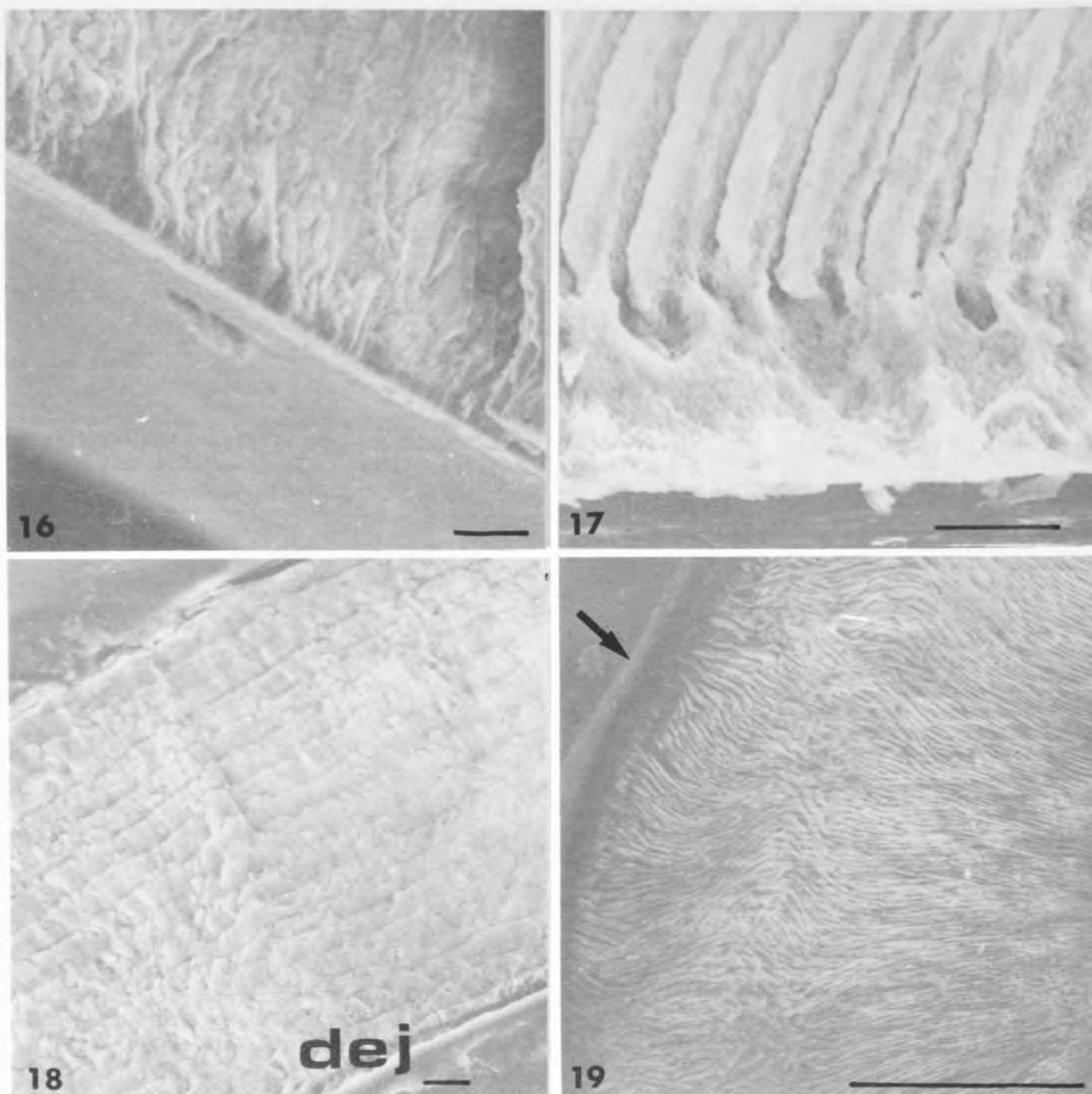


Fig. 16: Email humain. Il est possible de distinguer le plan de fracture et la surface de l'émail. X 960.

Fig. 16: A possible artefact. We can see on the same figure the enamel surface and the plane of fracture. X 960.

Fig. 17: Email humain. Plan de fracture. Dans sa partie superficielle l'émail est aprismatique. X 1650.

Fig. 17: Human enamel. Fracture plane. In the external layer prisms were broken. We have a typical « aprismatic » layer. X 1650.

Fig. 18: Email de hérisson. Lors du polissage le frottement sur papier émerisé a créé des stries parallèles faisant songer a des lignes d'apposition. L'existence d'émail prismatique de type 1 sur toutes les autres coupes nous a fait conclure à un artefact. X 630.

Fig. 18: Hedgehog enamel. During the polishing step on abrasive papers some parallel lines were formed at the enamel surface which look like incremental lines. After comparison with other enamel surfaces which all correspond to typical prism pattern 1 we can conclude that these laminations are artefactual. X 630.

Fig. 19: *Ruscinomys europaeus*. M¹ g. A faible grandissement il semblerait qu'il existe une couche « aprismatique » de surface. Il s'agit, en réalité, d'un hiatus à l'interface dent-résine. X 300.

Fig. 19: Ruscinomys europaeus. Upper left molar. In a general view we may recognize an « aprismatic » layer. Really it is a gap between the embedding resin and the enamel surface. X 300.

Theridomorphe: (Fig. 7, 8, 9). Chez ce rongeur les formes les plus hypsodontes présentent, au niveau des molaires, une structure téniodonte (lamelles accolées). Il est intéressant de noter que la structure est identique pour toutes les lamelles de l'émail. Nous n'observons pas de couche «aprismatique» de surface.

Email humain:

En denture temporaire comme en denture permanente sur un grand nombre de coupes longitudinales les prismes sont nettement visibles et atteignent la surface externe des dents (Fig. 10, Fig. 12). Ils ont toutefois tendance à se fracturer à 10, 20, parfois 30 μm de la surface (Fig. 11, 12). Sur certaines coupes nous pouvons noter une légère modification dans la direction des prismes dans la couche de sub-surface.

sur des surfaces mordancées l'attaque acide ne se fait pas de façon régulière sur toute la surface des échantillons (Fig. 13, Fig. 14). Certaines zones apparaissent comme relativement indemnes tandis que d'autres sont fortement altérées. La disposition zones relativement indemnes — zones bien mordancées peut se faire au hasard ou suivre, sur des dents permanentes jeunes, la topographie des périkématis (Fig. 15).

Nous avons observé, au cours de cette étude, plusieurs artéfacts qui pourraient, de prime abord ou à faible grossissement, laisser supposer l'existence d'une importante couche «aprismatique» de surface.

Pour les dents qui n'ont pas été incluses dans un bloc de résine nous nous trouvons parfois à l'intersection de deux plans. La projection, sur un même plan image, de deux plans orthogonaux peut simuler la présence d'une couche superficielle amorphe (Fig. 16). Cet artéfact peut être évité par l'examen, point par point, de la totalité du contour et par la comparaison des images obtenues à divers grossissements.

Sur dents incluses nous nous trouvons à l'interface dent-résine. Ces matériaux de duretés différentes peuvent se séparer lors du polissage. Le hiatus ainsi formé, peut à faible grossissement, mimer une zone amorphe de surface (Fig. 17).

Quelquefois les laminations observées (Fig. 18) sont dues simplement à une cassure des prismes, lors du polissage, selon des lignes bien parallèles. La comparaison avec d'autres coupes de dents appartenant à la même espèce (Fig. 4) permet d'éviter la confusion.

DISCUSSION

Avec la méthodologie utilisée la couche aprismatique de surface, pour les espèces animales étudiées, n'a jamais été mise en évidence. Les prismes, dans la couche externe de l'émail, apparaissent le plus souvent perpendiculaires à la surface de la dent. Cet alignement est déjà visible pour les globules minéralisés de l'émail de requin ou de crocodile.

Il apparaît excessivement difficile de confronter ces observations aux données parues dans la littérature. En effet, la plupart des chercheurs s'intéressent essentiellement, chez l'animal, à la disposition et la forme des prismes et, pour étudier ces caractères, ils éliminent purement et simplement la couche superficielle de l'émail par abrasion mécanique afin d'observer des surfaces finement polies (Gantt 1977, 1981, 1982, 1983; Carlson et Krause, 1985). Boyde (1978) indique simplement que, parmi les Rongeurs, les myomorphes présentent une couche «aprismatique» de surface avec des cristallites tous orientés perpendiculairement à la surface externe. Seuls Skobe et coll., 1985, semblent avoir observé une couche d'émail aprismatique qui n'excéderait pas 8 μm , chez le chien, et 24 μm chez le chat.

L'organisation structurale des prismes dans l'incisive de rat, pourtant considérée comme un modèle, par de nombreux auteurs ne fait pas l'unanimité. Frank et Sognaes (1960), par exemple, nient l'existence des prismes dans l'émail externe alors que Weber (1965) observe, dans cette même zone, une alternance de prismes et de «substance interprismatique». Warshawsky et coll., 1981, distinguent quatre couches au sein de l'émail de l'incisive de rat («initial, inner, outer and final enamel layers»). Dans la couche externe (20 μm) ils notent la présence d'un émail «interprismatique» relativement abondant et de prismes disposés parallèlement les uns aux autres et, à peu près, perpendiculaires à la surface. La couche la plus externe (4 μm) ou «final layer» serait constituée, selon ces auteurs, exclusivement d'émail interprismatique. Il correspondrait à l'ultime couche formée par les améloblastes qui, une fois perdu leur prolongement de Tomes, se retrouvent alignés et disposés en palissade. Du fait de cette disposition, les cristallites constitutifs de l'émail sont tous orientés parallèlement les uns aux autres et perpendiculairement à la surface externe. Cette structure n'est pas sans rappeler la définition même de la couche dite «aprismatique» selon Gwinnett (1966, 1967) et Ripa et coll. (1966).

Pour l'émail humain la couche superficielle «aprismatique», quelquefois visible sur plans de

fracture n'est observable, que rarement, sur des coupes longitudinales. L'aspect de l'émail, en surface, présente aussi une grande disparité. Nous avons vu qu'il existe, par zones, des surfaces lisses (apparemment «aprismatiques») et des surfaces présentant de multiples petites dépressions. Selon Boyde et Jones (1972), Boyde (1975), Fejerskov et coll. (1984) ces «pits» correspondent aux empreintes laissées par le prolongement de Tomes des améloblastes ou à l'émergence des prismes en surface.

Cette variabilité des aspects morphologiques pose donc le problème de l'existence de la couche aprismatique de surface, de sa fréquence, de sa répartition.

Il semble déjà, en ce qui concerne la terminologie, que le terme «aprismatique» prête à confusion (en français le préfixe a étant privatif: sans prismes). Cette ambiguïté avait déjà été pressentie par Gwinnett et Ripa et coll. En effet, si l'on se réfère aux publications de ces auteurs de 1966 et 1967 on constate qu'ils avaient pris la précaution de placer le terme entre guillemets. De plus les schémas proposés montrent bien qu'il faut différencier, respectivement en surface et sub-surface, les orientations des prismes et celles des cristallites. Les cristallites devenant, près de la surface, perpendiculaires à celle-ci et orientés parallèlement les uns aux autres. La disparition de la disposition penniforme (observable en sub-surface) ne permet plus d'observer, en microscopie photonique, les sous-unités constitutives de l'émail ou prismes. Il semble donc, dans les descriptions morphologiques, qu'il faille éviter la confusion entre axe des cristallites et axe des prismes. En M.E.B. la limite de résolution de l'appareil ne permet généralement pas de distinguer les cristallites, par contre les prismes sont bien visibles. Le pouvoir de résolution de l'appareil permet une meilleure observation. Ainsi, sur des coupes longitudinales, Horsted et coll. (1976); Haikel et Frank (1982); Carrassi et coll. (1986) et Kodaka et coll. (1989, 1990) ont pu observer le trajet des prismes jusqu'en surface. L'observation des surfaces permet également d'observer de nombreuses zones où l'émail «aprismatique» fait défaut (Haikel et coll., 1983; Fejerskov et coll., 1984; Holmen et coll., 1984). La microscopie électronique à balayage ne permet pas, elle non plus, d'éviter tout artéfact. L'interprétation correcte des images est souvent délicate, surtout sur dents non incluses, à cause de l'effet dit d'arête (Guillaumin, 1980) et de la grande brillance observée à la limite des échantillons.

L'existence, plus fréquente d'une importante couche «aprismatique» sur plans de fracture d'émail humain semble souvent due à la rupture des prismes en sub-surface; rupture favorisée par les changements d'orientation des prismes à ce niveau.

Comme nous l'avons rappelé antérieurement les données apportées par l'étude de l'amélogenèse (Boyde, 1965; Boyde et Jones, 1972; Warshawsky et coll., 1981) semblent bien expliquer la formation d'une fine couche d'émail terminal aprismatique. Cet émail «aprismatique» plus spécialement rencontré chez les Reptiles se retrouve, chez certains mammifères, en surface où il recouvre l'émail prismatique sous-jacent. Cette explication apportée par l'amélogenèse ne permet toutefois pas de comprendre la formation d'une épaisse couche d'émail aprismatique (l'épaisseur pouvant atteindre 50 à 70 μm selon Whittaker, 1982, ou même 220 μm selon Ripa et coll., 1966).

La perte progressive de cette couche aprismatique, sa disparition en certains points, pourrait être due à l'attrition. La couche d'émail peut, selon Kidd et coll. (1984), perdre ainsi jusqu'au tiers de son épaisseur. L'usure physiologique des dents pourrait également expliquer la disparition de la couche aprismatique au tiers moyen des couronnes (zone de frottement maximum).

Mais, dans ce cas, comment expliquer la plus grande fréquence de la couche «aprismatique» en denture temporaire alors que le processus de maturation, pour ces dents, est accéléré et compte tenu que nous n'avons observé que des dents «tombées» spontanément, donc âgées?

Goldberg et coll., 1978, 1979 attribuent la présence d'une couche superficielle, plus particulière, à la maturation post-éruptive de l'émail. Il ne s'agit pas d'une couche hyperminéralisée comme le pensait Allan (1967) mais d'une couche particulièrement riche en certains oligo-éléments: Ca, P, F, Na, Mg... comme l'ont montré Frank et coll. (1966), Weatherell et coll., 1974 ou Driessens et coll., 1985. La maturation post-éruptive de l'émail, par un enchaînement de phases de déminéralisation — reminéralisation, entraîne une recristallisation, en surface, avec formation de cristaux d'hydroxy ou de fluorohydroxyapatite. Les cristallites ainsi obtenus ont un diamètre supérieur à celui des cristallites de la subsurface (Arends et coll., 1983). Il y a donc diminution des espaces intercristallins et ainsi augmentation du rapport: phase minérale / phase organique (Brudevold et coll., 1982). La dent, dans

cette phase de maturation, acquiert un émail hyperminéralisé de surface. Cette couche d'émail lisse et dure a été observée sur des dents indemnes de carie.

En conclusion, la couche superficielle de l'émail même si elle ne présente pas toujours et partout une structure aprismatique, semble constituer une entité bien particulière de par l'orientation des cristallites et sa composition chimique. Son origine pourrait s'expliquer en partie par l'embryogenèse de ce tissu mais aussi par une évolution post-éruptive qui est fonction de l'âge de la dent mais aussi de facteurs environnementaux: teneur en oligoéléments du milieu buccal (fluor en particulier), présence de plaque conduisant à une déminéralisation...

BIBLIOGRAPHIE

- Allan, J.H. — Maturation of enamel. In Structural and chemical organization of teeth. Miles A.E.W. ed., 1967, pp. 467-494.
- Arends, J., Jonglebloed, W.L., Schuthof, J. — Crystallite diameters of enamel near the anatomical surface. *Caries Res.*, 17: 97-105, 1983.
- Boyde, A. — The structure of developing mammalian dental enamel. In: Tooth enamel. Bristol, Stack, I.M.V and Fearnead, R.W. eds, Wright and Son Ltd, 1965, pp. 163-167.
- Boyde, A., Jones, S.J. — Scanning electron microscopic studies of the formation of mineralized tissues. In: Slavkin, Bavetta: Developmental aspects of oral biology. New York, Academic press, 1972, pp. 243-274.
- Boyde, A. — Scanning electron microscopy of enamel surfaces. *Br. med. Bull.* 31: 120-124, 1975.
- Boyde, A. — Development of the structure of the enamel of the incisor teeth in the three classical subordinal groups of the rodentia. In: Butler, P.M. and Joysey, K.A.: Development, Function and Evolution of Teeth. New York, Academic press, 1978, pp. 43-58.
- Brudevold, F., Aasenden, R., Bakhos, Y. — A preliminary study of posteruptive maturation of teeth in situ. *Caries Res.*, 16: 243-248, 1982.
- Brudevold, F., Tehrani, A., Bakhos, Y. — Intraoral mineralization of abraded dental enamel. *J. Dent. Res.*, 61: 456-459, 1982.
- Carlson, S.J., Krause, D.W. — Enamel ultrastructure of multituberculate mammals: an investigation of variability. In: Contributions from the museum of paleontology. The university of Michigan, 27: 1-50, 1985.
- Carrassi, A., Santarelli, G., Strohmenger, L., Garattini, G. — Morfologia dello smalto e distribuzione dello strato aprismatico nei denti decidui. *Dental Cadmos*, 2/86: 51-59, 1986.
- Driessens, F.C.M., Heijligers, H.J.M., Borggreven, J.M.P.M., Wöltgens, J.H.M. — Posteruptive maturation of tooth enamel studied with the electron microprobe. *Caries Res.*, 19: 390-395, 1985.
- Fejerskov, O., Josephsen, K., Nyvad, B. — Surface ultrastructure of unerupted mature human enamel. *Caries Res.*, 18: 302-314, 1984.
- Fejerskov, O., Josephsen, K., Nyvad, B. — Transmission and scanning electron microscopical studies of human enamel surfaces at time of eruption. In: Fearnead, R.W., Suga, S. eds: Tooth Enamel IV. Elsevier Science Publishers, 1984, pp. 240-244.
- Flynn, L.J. and Wahlert, J.H. — Preparation and viewing of rodent incisors for SEM study. *Curator*, 21: 303-310, 1978.
- Flynn, L.J. — Variability of incisor enamel microstructure within *Gerbillus*. *J. Mamm.*, 63: 162-165, 1982.
- Frank, R.M., and Sognaes, R.F. — Electron microscopy of matrix formation and calcification in rat enamel. *Archs Oral Biol.*, 1: 339-348, 1960.
- Frank, R.M., Capitant, M., Goni, J. — Electron probe studies of human enamel. *J. Dent. Res.*, 45: 672-682, 1966.
- Gantt, D.G., Pilbeam, D., Steward, G.P. — Hominoid enamel prism patterns. *Science*, 198: 1155-1157, 1977.
- Gantt, D.G. — Implications of enamel prism patterns for the origin of the new world monkeys. In: Ciochon, R.L. and Chiarelli A.B. eds: Evolutionary Biology of the New World Monkeys. New York, Plenum, 1980, pp. 201-217.
- Gantt, D.C., Cring, F.D. — Enamel ultrastructure and its implication to paleontology. *Scanning Electron Microscopy*, 1: 595-602, 1981.
- Gantt, D.G. — Neogene hominoid evolution. A tooth's inside view. In: Kurten, B.: Teeth: form, function and evolution. Columbia University Press, 1982, pp. 93-108.
- Gantt, D.G. — The enamel of neogene hominoids. Structural and phyletic implications. Luckett, W.P., Nolack, C.R.: New interpretations of Ape and Human Ancestry. Ciochon, R.L., Corruccini, R.S. eds, 1983, pp. 249-298.
- Glas, J.E. — Studies on the ultrastructure of dental enamel VI. Crystal chemistry of shark's teeth. *Odont. Revy*, 13: 31-32, 1962.
- Goldberg, M., Genotelle-Septier, G., Molon-Noblot, M., Weill, R. — Maturation tardive de l'émail dentaire humain. *Jour. Biol. Buccale*, 7: 353-363, 1979.
- Goldberg, M. — Histologie de l'émail. *Encycl. Méd. Chir.*, Paris Stomatologie I, 22007 A⁶⁵, p.
- Guillaumin, D. — La pratique du M.E.B en biologie. Masson ed. Paris, 124 p., 1980.
- Gwinnett, A.J. — The ultrastructure of the «primless» enamel of deciduous teeth. *Archs oral Biol.*, 11: 1109-1115, 1966.
- Gwinnett, A.J. — The ultrastructure of the «primless» enamel of permanent human teeth. *Archs oral Biol.*, 12: 381-387, 1967.
- Haikel, Y., Frank, R.M. — Microscopie électronique à balayage de la surface d'émail aprismatique normal et carié de dents temporaires humaines. *Jour. Biol. Buccale*, 10: 111-124, 1982.
- Haikel, Y., Frank, R.M., Voegel, J.C. — Scanning electron microscopy of the human enamel surface: layer of incipient carious lesions. *Caries Res.*, 17: 413, 1983.
- Holmen, L., Thystrup, A. — Scanning electron microscope study of enamel surface as visualized in vivo. *J. Dent. Res.*, 63: 2271, 1984.

- Horsted, M., Fejerskov, O., Larsen, M.J., Thylstrup, A.** — The structure of surface enamel with special reference to occlusal surfaces of primary and permanent teeth. *Caries Res.*, 10: 287-296, 1976.
- Jordan, R.E., Susuki, M., Gwinnett, A.J., Hunter, J.K.** — Restoration of fractures of hypoplastic incisors by the acid etch technique: a three-year report. *JADA*, 95: 795-803, 1977.
- Kidd, E.A.M., Richards, A., Thylstrup, A., Fejerskov, O.** — The susceptibility of young and old human enamel to artificial caries in vitro. *Caries Res.*, 18: 226-230, 1984.
- Kodaka, T., Nakajima, F., Kuroiwa, M.** — Distribution patterns of the surface «primless» enamel in human deciduous incisors. *Bull. Tokyo dent. Coll.*, 30: 9-19, 1989.
- Kodaka, T., Kuroiwa, M., Higashi, S., Miake, K.** — Three-dimensional observations of the relation between the natural enamel surface and the outermost layer in human permanent teeth. *Bull. Tokyo dent. Coll.*, 31: 105-115, 1990.
- Lison, L.** — Les dents. In: *Traité de Zoologie*, Tome XII. Grassé, P. Paris, Masson et Cie, 2° ed., 1954, pp. 791-849.
- Marcus, H.** — Zur phylogenie der schmelzprismen. *Z. Zellforsch.*, 12: 395-429, 1931.
- Marshall, G.W., Olson, L.M., Lee, C.V.** — SEM investigation of the variability of enamel surfaces after simulated clinical acid etching for pit and fissure sealants. *J. Dent. Res.*, 54: 1222-1231, 1975.
- Martens, L.C., Verbeeck, R.M.H., Callens, F.J., Matthys, P.F.A., Boesman, E.R., Dermaut, L.R.** — Apatite crystallite alignment in sound human tooth enamel studied by E.S.R. *Jour. Biol. Buccale*, 13: 347-353, 1985.
- Newman, H.N., Poole, D.F.G.** — Observations with scanning and transmission electron microscopy of the structure of human surface enamel. *Archs oral Biol.*, 19: 1135-1143, 1974.
- Orvig, T.** — Phylogeny of tooth tissues: evolution of some calcified tissues in early vertebrates. In: *Structural and chemical organization of teeth*. Miles A.E.W. ed., 1067, pp. 45-110.
- Ripa, L.W., Gwinnett, A.J., Buonocore, M.G.** — The «primless» outer layer of deciduous and permanent enamel. *Archs oral Biol.*, 11: 41-48, 1966.
- Silverstone, L.M.** — The histopathology of early approximal caries in the enamel of primary teeth. *J. of Dentistry for Children*, 37: 17, 1970.
- Silverstone, L.M.** — The structure and characteristics of human dental enamel. In: *Smith, D.C. and Williams, D.F.: Biocompatibility of dental materials*. Vol. 1. Boca Raton (Floride), C.R.C. Press, 1982, 224 p.
- Skobe, Z., Prostak, K.S., Trombly, P.L.** — Scanning electron microscope study of cat and dog enamel structure. *J. of Morphology*, 184: 195-203, 1985.
- Thewlis, J.** — The calcification of enamel and dentine. *Br. Dent. J.*, 62: 303-313, 1937.
- Warshawsky, H., Josephsen, K., Thylstrup, A., Fejerskov, O.** — The development of enamel structure in rat incisors as compared to the teeth of monkey and man. *The Anatomical Record*, 200: 371-399, 1981.
- Weatherell, J.A., Robinson, C., Hallsworth, A.S.** — Variations in the chemical composition of human enamel. *J. Dent. Res.*, 53: 180-192, 1974.
- Whittaker, D.K.** — Structural variations in the surface zone of human tooth enamel observed by scanning electron microscopy. *Archs oral Biol.*, 27: 383-392, 1982.

Adresse des auteurs: Rodde J., Faculté d'Odontologie de Lyon, rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08 (France).