

OBSERVATIONS
SUR DES REMANIEMENTS STRUCTURAUX
POST MORTEM DANS DES DENTS
DE MAMMIFÈRES FOSSILES PROVENANT
DES PHOSPHORITES DU QUERCY

par

Jean A. REMY *

Deux types de remaniements *post mortem* me paraissent caractéristiques de l'état de conservation des dents de mammifères fossiles dans les Phosphorites du Quercy :

1) Des destructions localisées d'origine biologique, sous forme de galeries de morphologie très variable creusées dans la dentine et le cément, et impliquant sans doute la participation de différents types de micro-organismes. Ces altérations se sont développées peu de temps après la mort, avant la fossilisation proprement dite et se sont rapidement arrêtées après l'enfouissement dans le sédiment phosphaté.

2) Des perturbations dans les structures de la dentine liées aux variations locales de minéralisation, provoquées par une imprégnation diffuse des zones les moins calcifiées par divers minéraux et probablement surtout de l'apatite.

La forte minéralisation des dents des mammifères leur confère une particulière aptitude à se fossiliser en conservant intactes les plus fines caractéristiques morphologiques de leurs tissus calcifiés [2] [4] [11] [12] [18] [25].

Cependant, la fossilisation s'accompagne fréquemment de remaniements *post mortem* variés qu'il y a lieu de chercher à diagnostiquer pour éviter toute confusion avec des structures histologiques originelles ou d'éventuelles manifestations pathologiques *intra vitam*. Le recensement et l'interprétation de ces altérations, outre leur intérêt descriptif, sont également susceptibles d'apporter des informations originales sur les processus de fossilisation.

Il m'a donc semblé intéressant de présenter, à l'occasion d'un colloque sur les Vertébrés fossiles des Phosphorites du Quercy, quelques observations relatives à des dents de mammifères provenant de ces gisements.

(*) Adresse de l'auteur : J.A. REMY, 3, rue Titus, 30 - Nîmes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ces observations ayant été réalisées au cours d'une étude histologique de dents de Palaeotheriidae, sont cantonnées à cette seule famille de périssodactyles fossiles; limitation systématique qui se double d'une limitation chronologique, car les Palaeotheriidae s'éteignent à l'Oligocène inférieur tandis que les gisements des Phosphorites du Quercy s'étagent de l'Eocène supérieur à la fin de l'Oligocène moyen.

Les spécimens étudiés (Tableau I) proviennent de récoltes anciennes (Coll. Faculté des Sciences, Montpellier). Aucune précision sur leurs gisements d'origine n'était mentionnée.

Les lames minces pour examen direct en microscopie optique ont été préparées selon une technique pétrographique de routine: prélèvement d'une section épaisse au disque diamanté après imprégnation de la pièce au méta-crylate de méthyle et polymérisation, meulages et finitions sur papiers abrasifs humides jusqu'au grain 600, collage sur lame à la résine Likeside 70, couverture au baume, épaisseur pétrographique (30 μ).

Pour mettre en évidence le degré de minéralisation relative des différentes zones de la dentine, j'ai réalisé en outre des microradiographies à partir de lames minces spécialement préparées; celles-ci ont exigé l'emploi d'une technique particulière: le collage sur porte-objet en verre, nécessaire pour le meulage et la finition, a été effectué avec une résine cyanoacrylique (Permabond) pour permettre un décollement ultérieur par séjour dans l'eau distillée. Préalablement à celui-ci, les coupes ont été doublées, pour éviter leur effritement, par une feuille d'acétyl-cellulose au 0,02 mm d'épaisseur (Biodène) appliquée à l'aide d'une goutte d'acétate de méthyle, puis elles ont été collées sur les porte-objets annulaires spéciaux.

L'examen aux rayons X a été pratiqué dans un appareil de microradiographie de contact Philips de 5 kV type 11990/08 équipé d'une fenêtre en béryllium de 50 μ d'épaisseur sous une intensité de 2 mA avec du film spectroscopie Kodak 649-0. Après une exposition variant de 3 à 60 mn, les clichés ont été développés avec un révélateur haute définition puis observés au microscope optique.

Pour les examens en microscopie électronique, de petits fragments de dentine ont été inclus dans de l'Epon 812 (mélange MNA seul) et les coupes réalisées après orientation convenable avec un ultramicrotome Servall Porter équipé d'un couteau de diamant. J'ai utilisé un microscope JEM 100 B sous 80 kV en montage haut contraste dans une gamme de grossissements de 3 000 à 50 000.

TABLEAU I

Espèces	Numéros des spécimens	Spécimens étudiés	Examens pratiques		
			Microscopie optique	Microradiographie	Microscopie électronique
<i>Anchilophus dumasi</i>	153	molaire supérieure peu usée	X		
	154	molaire supérieure usée	X		
	155	molaire supérieure intacte	X		
<i>Palaeotherium siderolithicum</i>	222	molaire supérieure peu usée	X		
	223	molaire supérieure peu usée	X		
	243	molaire supérieure peu usée	X	X	
<i>Palaeotherium magnum</i>	224	molaire supérieure usée	X	X	X
<i>Plagiolophus minor</i>	225	molaire inférieure très peu usée	X		
<i>Plagiolophus fraasi</i>	226	molaire inférieure intacte	X		
	227	molaire supérieure usée	X		X
	253	molaire inférieure assez usée	X	X	

I. — ALTÉRATIONS *POST-MORTEM* D'ORIGINE BIOLOGIQUE

OBSERVATIONS.

De place en place on observe sur les coupes des images inhabituelles superposées aux structures normales de la dent (Fig. 1 à 8). Il s'agit de galeries creusées dans la masse de la dentine et du ciment et concentrées près de la surface externe des racines, particulièrement au collet, et autour de la chambre pulpaire, plus rarement au niveau des facettes d'usure de la dentine. L'émail n'est jamais attaqué : les galeries qui progressent dans la dentine peuvent atteindre la limite amélo-dentinaire et cheminer en étroit contact avec elle, jamais elles n'effectuent la moindre incursion dans le tissu adamantin.

Toutes les dents des Phosphorites que j'ai pu observer ont souffert de ces destructions localisées quoiqu'à des degrés divers : seuls quelques

filaments témoignent parfois de l'universalité du phénomène, dans d'autres cas, une grande partie de la dentine est atteinte; mais aucune dent n'est totalement désorganisée et on ne trouve jamais de « cupules d'émail » [19].

Ces altérations présentent un extrême polymorphisme dont les micrographies présentées ici ne rendent que partiellement compte : variations de diamètre (2 à 50 μ), de forme (simples ou ramifiées), de trajet (très sinueuses, à direction préférentielle, ou strictement rectilignes), de structure (filaments fins uniques ou associés parallèlement, larges galeries tubulaires ou masses d'aspect cotonneux). Malgré cette diversité, il paraît difficile d'en donner une classification car tous les intermédiaires imaginables relient entre elles les formes les plus caractérisées. On en rencontre fréquemment différents types sur une même dent : les galeries chevauchant la jonction cémento-dentinaire subissent une brusque transformation en passant de l'un à l'autre de ces tissus (Fig. 4); de même il existe souvent des formes de passage entre les zones diversément altérées de la dentine.

La progression des altérations ne paraît pas avoir de relations avec la direction des canalicules dentinaires, auxquels les galeries sont rarement parallèles et qui peuvent rester longtemps épargnés : sur les coupes perpendiculaires à leur grand axe, on peut observer des canalicules entourés d'une fine couche de dentine intacte au sein du tissu altéré (Fig. 3).

Les galeries d'altération se présentent parfois sans contenu minéral (biréfringence nulle et transparence aux rayons X) mais le plus souvent comblées par des minéraux exogènes dont les caractéristiques optiques et radiographiques évoquent calcite, apatite, minéraux des argiles ou oxydes métalliques.

DISCUSSION.

Des structures analogues ont été décrites dans les tissus calcifiés de vertébrés actuels ou fossiles [14] [15] [16] [19] [20] [22] [23] [24]; on les a observées principalement chez des animaux marins et dans des dents humaines exhumées; les restes de mammifères terrestres fossiles sont plus rarement mentionnés. On les rencontre quel que soit le milieu de conservation des ossements : eau salée ou douce, terre sablonneuse ou argileuse, calcaires divers, argiles, grès, tourbe.

Leur origine biologique et leur développement *post mortem* habituel ne sont pas mis en doute [19] : on ne les observe pas *in vivo* (sauf exceptions possibles sur des dents de poissons : [20], [24]). Leur localisation évoque une invasion par des agents venus de l'extérieur; divers types de micro-organismes ont été incriminés.

Schaffer en attribuait la responsabilité à des algues cariantes. Algues vertes et cyanophycées sont effectivement à l'origine de cavitations très polymorphes dans diverses roches calcaires telles que des calcaires coralliens; on a également décrit des galeries creusées par ces végétaux dans des tests

de mollusques [1] [21]. L'opinion de Schaffer était précisément fondée sur la similitude d'aspect de certaines altérations dans les coquilles et les ossements.

Cependant, plusieurs arguments tendent à réfuter cette hypothèse :

- 1 – Les ossements et les dents peuvent être attaqués sur une grande épaisseur, alors que l'action des algues endolithes ne dépasse généralement pas 2 à 4 mm;
- 2 – La finesse de certaines galeries et la résolution en fins filaments d'autres galeries plus larges conviennent mal à des algues dont le diamètre minimum ne descend guère au-dessous de 5 μ ;
- 3 – L'activité cariante des algues n'a jamais été observée sur des matériaux phosphatés mais seulement sur des carbonates;
- 4 – Le mode d'ensevelissement des restes humains en profondeur du sol, dans une obscurité totale, paraît exclure toute attaque par des organismes autotrophes; or on ne connaît pas d'algues endolithes hétérotrophes;
- 5 – Enfin, la localisation des altérations *post mortem* paraît plutôt en relations avec le contenu organique des tissus qu'avec leur dureté. Si dans les calcaires coralliens les zones les moins dures sont attaquées préférentiellement, l'action des algues se fait néanmoins sentir occasionnellement dans la roche compacte; dans les dents altérées, au contraire, l'intégrité de l'émail est absolue.

On a donc incriminé différents types de saprophytes. D'après la morphologie des galeries et la présence de petites masses identifiées comme spores, Roux [14] attribuait les altérations *post mortem* rencontrées dans des os de vertébrés aquatiques à un champignon qu'il dénommait *Mycelites ossifragus* et qui devait être reconnu ensuite par différents auteurs dans des os et des dents de poissons, reptiles et mammifères marins [20].

Une origine mycélienne a, de même, été retenue pour les altérations des dents humaines exhumées [19] [22] [23] [24]. Mais dans ces dernières, comme dans les dents du Quercy, les altérations sont particulièrement polymorphes : en milieu continental, de nombreux micro-organismes du sol peuvent être *a priori* suspectés et différents types peuvent participer conjointement à la destruction des ossements. Ainsi Werelds a-t-il pu mettre en évidence, grâce à des colorations sélectives, dans des dents humaines datant de 300 ans, des actinomycétales qui semblent responsables d'un certain type de cavités. Il est donc probable que bactéries et champignons concourent dans ces processus. Si des variations physico-chimiques locales sont, pour une part, responsables du polymorphisme des altérations, comme le laisse supposer l'existence de nombreuses formes intermédiaires, ce polymorphisme témoigne sans doute aussi de la diversité des micro-organismes en cause [23].

Malgré cette diversité, le mode d'invasion de la dentine est apparemment toujours le même : les galeries se développent en tous sens, généralement sans relations avec la direction des canalicules; l'envahissement se fait donc directement dans le tissu calcifié sans emprunter la voie de pénétration offerte par ceux-ci. On pourrait supposer que les liserés de

dentine intacte qui les entourent soient dûs à la présence de dentine péricanaliculaire hyperminéralisée (*cf. infra*) qui retarderait leur contamination; mais j'ai pu constater grâce à la microradiographie que ces liserés pouvaient être plus larges que les zones péricanaliculaires; leur existence résulterait donc plutôt d'un antagonisme avec d'autres micro-organismes spécialisés dans la protéolyse des prolongements odontoblastiques intracaniculaires. Ceux-ci ne sont d'ailleurs pas nécessairement détruits, puisque Werelds en a observé des restes non dissociés, flottant dans des galeries d'altération [23].

Finalement, la nature exacte des agents responsables de ces remaniements *post mortem* reste généralement mal définie. Seule une expérimentation sur les organismes impliqués actuellement dans la dégradation des ossements et des dents pourrait éclairer la question; elle serait souhaitable pour une meilleure interprétation des formes fossiles et paraît réalisable. On sait en effet que les altérations peuvent se développer rapidement après la mort: Wedl [22] a noté la présence de galeries dans une dent conservée 10 jours seulement dans de l'eau polluée; Werelds a montré en outre qu'après un séjour de quelques années en terre des dents pouvaient être profondément altérées [24]; le phénomène peut donc être tout à la fois précoce et rapide.

La répartition des altérations *post mortem* dans les dents des Phosphorites du Quercy conduit à des conclusions analogues: l'éventualité d'une dégradation tardive, postérieure à la diagénèse ou même récente est exclue par le fait que les zones d'invasion dans la dentine sont fréquemment scellées par un remplissage calcitique de la chambre pulpaire. Mais on remarque en outre que les facettes d'usure sont relativement peu atteintes par rapport aux surfaces externes des racines ou aux parois de la chambre pulpaire; or les galeries progressent, on l'a vu, dans la masse de la dentine indépendamment des canalicules; la sclérose dentinaire (*cf. infra*) qu'on peut suspecter à proximité des zones d'abrasion ne saurait donc être la cause de la relative intégrité des dents à ce niveau. L'origine de l'attaque préférentielle autour des chambres pulpaires et sur les racines doit ainsi être recherchée plutôt dans la persistance de restes organiques pulpaires et ligamentaires ou dans la faculté de ces zones anfractueuses à retenir l'humidité par capillarité. L'altération des dents aurait donc débuté après une protéolyse suffisante pour permettre l'accès des saprophytes aux points qui devaient être envahis, mais avant la disparition totale des tissus mous ou du moins avant l'enfouissement dans un sédiment qui aurait eu pour effet d'uniformiser les conditions extérieures sur toute la surface des dents; en conséquence, certainement avant la fossilisation proprement dite.

La dentine des dents du Quercy n'étant jamais entièrement altérée, le processus de dégradation biologique devait se trouver rapidement interrompu, probablement sous l'influence de conditions physico-chimiques sévères impropres à la survie de micro-organismes. L'enfouissement dans l'argile compacte d'un remplissage karstique ne permettant plus après comblement total ni circulation d'eau ni oxygénation pourrait avoir fourni de telles conditions. Dans les ossements conservés dans des sables, roches où les circulations d'eau restent intenses, les altérations *post mortem* sont particulièrement développées et souvent étendues à toute la masse de la dentine.

L'arrêt de ces processus est donc sans doute plus en rapport avec des variations d'humidité et d'aération qu'avec d'autres facteurs tels que le degré d'éclairement. D'ailleurs, si l'on admet l'origine saprophytique des altérations, supprimant toute influence notable à ce dernier facteur, on peut envisager que l'entraînement des ossements dans les cavités karstiques ait revêtu diverses modalités : dans le cas d'ossements arrivant déjà dissociés, la dégradation *post mortem* aurait pu débiter avant l'enfouissement; pour les squelettes en connexion, provenant d'animaux morts sur place ou immédiatement avant leur entraînement dans l'argile phosphatée [3], il paraît nécessaire d'admettre qu'elle se soit développée postérieurement et donc sans doute tant que le sédiment demeurait humide et aéré.

Quoiqu'il en soit, l'hypothèse d'une interruption rapide des processus biologiques d'altération des dents s'accorde bien avec les conceptions actuelles des spécialistes du karst, selon lesquels les remplissages des gouffres à phosphorite du Quercy ont dû être des événements relativement brefs sinon brutaux [3].

Les recherches sur les altérations *post mortem* pourraient conduire à une meilleure compréhension des phénomènes préluant à la fossilisation des restes de vertébrés dans ces gisements. Mais elles devraient être basées sur des observations plus nombreuses et plus systématisées : la fossilisation ne s'est pas produite nécessairement selon les mêmes modalités pendant toute la durée du dépôt phosphaté, ni dans tous les gisements, ni chez tous les groupes. Les très fins remplissages qu'on observe sur certaines coupes (Fig. 5 et 7) laissent en outre espérer que des examens appropriés permettraient parfois de retrouver la morphologie externe même des agents destructeurs, conservée par métasomatose, et non plus seulement l'empreinte de leur cheminement comme c'est généralement le cas.

II. — PERTURBATIONS DE LA STRUCTURE DENTINAIRE D'ORIGINE MINERALE

RAPPEL HISTOLOGIQUE.

Chez de nombreux mammifères, la dentine ne présente pas une minéralisation homogène : les prolongements cytoplasmiques intra-dentaires des odontoblastes participent à son édification sous forme d'une gaine entourant les canalicules, plus transparente que la masse dentinaire, d'orientation cristalline différente et plus calcifiée : la dentine péricanaliculaire (que l'on distingue ainsi de la substance fondamentale calcifiée ou dentine intercanaliculaire). Au fur et à mesure de la maturation de la dentine, ou sous l'influence de divers facteurs, le diamètre des canalicules décroît progressivement, ce processus pouvant aboutir à leur complète oblitération (sclérose dentinaire).

La différence d'indice de réfraction entre dentines péri- et intercanaliculaire étant faible, leurs limites sont parfois difficilement discernables à l'examen direct; la dentine péricanaliculaire peut en outre se trouver masquée ou simulée par des lisérés de Becke dûs au contenu des canalicules de telle sorte qu'on a longtemps supposé que l'entourage brillant de ceux-ci n'était, dans tous les cas, qu'une illusion d'optique. Ce n'est que grâce au perfectionnement des techniques de microradiographie et de microscopie électronique qu'on a pu s'assurer que cette zonation correspondait effectivement à la différenciation de deux types de dentine.

La dentine péricanaliculaire se présente sur les microradiographies, du fait de sa radio-opacité relative, sous forme de zones plus claires que la dentine intercanaliculaire et *a fortiori* que les canalicules dentinaires, normalement radiotransparents et donc noirs. Au microscope électronique, la dentine péricanaliculaire se résout en un feutrage compact de cristallites d'apatite plus fines que celles de la dentine intercanaliculaire et d'orientation différente.

La dentine péricanaliculaire a été observée dans les dents fossiles où elle conserve généralement ses caractères habituels, tant à l'examen optique qu'en microradiographie ou en microscopie électronique [4] [12] (Fig. 9, 13, 20). En ce qui concerne les genres considérés ici, elle est toujours très développée chez *Palaeotherium* et *Plagiolophus*, plus réduite chez *Anchilophus* [12]. Les observations ci-dessous se référeront en conséquence principalement aux deux premiers de ces genres.

Les zones interglobulaires de Czermak sont des plages d'hypocalcification localisées généralement dans le tiers externe de la dentine, à peu de distance de l'émail (Fig. 17, 18).

OBSERVATIONS.

MICROSCOPIE OPTIQUE. L'aspect des dents des Phosphorites reste généralement normal en dehors des régions désorganisées par les altérations biologiques précédemment décrites. La biréfringence de la dentine est presque partout faible, du gris au blanc, avec les figures de calcification habituelles. Seules altérations minérales notables : quelques plages jaunâtres, parfois en relations avec des enduits externes de limonite, prenant en lumière polarisée une coloration allant jusqu'au jaune orangé du premier ordre. La dentine péricanaliculaire, souvent très nette à l'examen direct (Fig. 10, 16) est toujours discernable en lumière polarisée (Fig. 15a); les imprégnations colorées l'épargnent généralement (Fig. 10, 14). On note enfin quelques remplissages de calcite en grandes unités cristallines xénomorphes, dans les canalicules dentinaires et les galeries d'altération, à proximité des chambres pulpaires ou des traits de fracture.

MICRORADIOGRAPHIE. La radio-opacité de la dentine est parfois très augmentée et peut approcher celle de l'émail. Avec la technique utilisée

et toutes conditions égales, les microradiographies nécessitent une exposition de l'ordre de 3 mn pour les dents fraîches et de 5 mn en moyenne pour des dents fossiles de provenances diverses. Pour un noircissement équivalent des clichés, les spécimens 253 et 224 ont dû être exposés respectivement 15 et 60 mn; le spécimen 243 restant au contraire dans les normes.

Cette dernière dent présente aussi une structure apparemment normale en ce qui concerne la minéralisation relative des différents constituants de la dentine. Les spécimens 224 et 253 dénotent au contraire une profonde altération dans la répartition des ions lourds :

224 : uniformisation complète de la dentine due à l'absence totale de différenciation de la dentine péricanaliculaire et des zones interglobulaires (Fig. 19), bien que ces structures soient discernables à l'examen optique direct. La plupart des canalicules sont également effacés, quelques-uns conservent cependant leur radio-transparence normale;

253 : dans les zones faiblement biréfringentes, disparition de la dentine péricanaliculaire (Fig. 11). Dans les zones imprégnées en jaune et plus biréfringentes, elle est même moins radio-opaque que le fond de la dentine (Fig. 11, 12); cet aspect paradoxal, réalisant un véritable négatif de la structure normale est d'autant plus accentué que l'imprégnation jaune est plus forte. Les canalicules sont tous plus radio-opaques que la dentine.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE. Sur les échantillons étudiés, les coupes ont été réalisées perpendiculairement aux canalicules. La lumière de ceux-ci est remplie plus ou moins densément par des baguettes cristallines de 1 000 à 10 000 Å de long et de section hexagonale de 100 à 1 000 Å de diamètre. Allongées dans le plan de coupe, elles sont le plus souvent dispersées sans orientation préférentielle, plus rarement ordonnées radialement (Fig. 21 à 23).

Les deux types de dentine restent faciles à délimiter grâce à l'orientation différente de leurs cristallites (Fig. 23). Celles de la dentine péricanaliculaire, alignées parallèlement aux canalicules affectent ici la forme de sections hexagonales de 100 à 150 Å de diamètre; leur plus grande longueur, visible occasionnellement paraît être de l'ordre de 400 à 800 Å. La partie interne de la dentine péricanaliculaire se différencie parfois en une zone bien délimitée où les cristallites sont moins denses (Fig. 21).

La dentine intercanaliculaire se caractérise par un feutrage cristallin très serré, au moins aussi compact que dans la dentine péricanaliculaire. Les cristallites associées en petits faisceaux dans toutes les directions, y mesurent 600 à 1 200 Å sur 50 à 150 Å.

DISCUSSION.

La radio-opacité relative de certaines dents et les modifications structurales observées en microradiographie paraissent consécutives à des impré-

gnations minérales *post mortem* des zones de la dentine les moins calcifiées naturellement et de la lumière des canalicules.

En effet, la disparition de toute structure sur les microradiographies du spécimen 224 ne peut être interprétée comme due à l'absence de dentine péricanaliculaire. Celle-ci est toujours très développée chez *Palaeotherium*, sauf à proximité immédiate de l'émail et de la chambre pulpaire; or le plan de coupe permet de voir une grande épaisseur de dentine. Les zones péricanaliculaires s'observent d'ailleurs parfaitement en microscopie électronique; la conservation de l'orientation originelle des cristallites qu'on y constate explique en outre la persistance d'images normales à l'examen direct en lumière normale ou polarisée.

L'inversion des taux relatifs de minéralisation sur la lame 253 n'est certainement pas d'ordre physiologique non plus: la dentine péricanaliculaire est normalement plus calcifiée que la substance fondamentale; l'inverse n'a été observé qu'occasionnellement dans la dentine immature, à peu de distance du front de minéralisation. Or on est en présence d'une dent adulte et la coupe embrasse une grande partie de son épaisseur.

Il s'agit donc dans les deux cas d'un accroissement de radio-opacité de la dentine intercanaliculaire dont l'origine doit être recherchée dans une imprégnation par un minéral exogène. Il en est sans doute de même pour les zones interglobulaires de Czermak, bien visibles à l'examen direct mais absentes sur les microradiographies.

L'oblitération des canalicules paraît également en relations avec la fossilisation, car il ne peut s'agir de sclérose dentinaire: la sclérose consécutive au vieillissement ou à l'abrasion se traduit par un remplissage minéral d'une structure cristalline identique à celle de la dentine péricanaliculaire [9]; c'est à ce processus que pourrait être dû le dédoublement des zones péricanaliculaires sur certaines électromicrographies du spécimen 224 qui est une molaire très usée. Mais le remplissage central des canalicules ne peut admettre la même origine, du fait des très grandes dimensions des cristallites qui le constituent. On a signalé, il est vrai, au pourtour des caries et des mylolyses, l'oblitération de certains canalicules par de gros éléments cristallins [6] [7]; mais cette sclérose pathologique ne peut non plus être retenue car on n'observe ici aucune manifestation pathologique concomitante, ni cavité, ni dentine réactionnelle intrapulpaire et la radio-opacité des canalicules se retrouve dans toute l'épaisseur de la dentine.

Divers minéraux semblent intervenir dans ces remaniements *post mortem*. Dans le contexte minéral des Phosphorites, calcite, limonite, minéraux détritiques et apatites peuvent être soupçonnés d'y avoir joué un rôle. Périnet [10] a effectivement décelé dans un os de *Plagiolophus minor* des Phosphorites, à côté de modifications cristallines de l'apatite, la présence de kaolinite, de grains de quartz détritiques et de calcite recristallisée. Mais calcite et quartz se bornent à combler des porosités relativement grossières: dans les dents étudiées ici, la calcite, aisément identifiable en lumière polarisée, se rencontre dans les cavités pulpaires, dans des fissures, des galeries d'altération biologiques et occasionnellement, dans quelques portions de canalicules.

Par contre, la perminéralisation de la dentine elle-même me semble due plutôt, là où persiste une biréfringence faible comme dans le cas de la dent 224, à un minéral du groupe de l'apatite. En effet, les seuls autres minéraux très peu biréfringents qu'on puisse suspecter sont trop transparents aux rayons X, que ce soit de la kaolinite ou une espèce voisine, ou plus encore de la silice reprécipitée, pour justifier l'augmentation de radio-opacité notée précédemment. Le microscope électronique tend à confirmer ce point de vue : les prismes hexagonaux allongés qui obstruent les canalicules ont une morphologie d'apatite et non de phyllosilicates ou de silice; en outre, si la densité des cristallites de la dentine est augmentée, je n'ai pas cru y déceler de formes cristallines hétérogènes. On pourrait d'ailleurs difficilement concevoir que des éléments détritiques si ténus soient-ils (pour ce qui est des minéraux argileux) aient pu s'immiscer dans la trame compacte du tissu dentinaire.

Les dimensions des cristallites sont du même ordre que celles d'autres dents fossiles ou des dents actuelles. Diverses publications font état d'une lente croissance des cristallites avec le temps dans les ossements fossiles [10] [25]; la différence ne saurait être que relativement faible ici, puisqu'on admet généralement des dimensions de 400 à 800 Å sur 80 à 120 Å pour celles de la dentine humaine [5].

On peut donc émettre l'hypothèse que la dent en question a subi un enrichissement en phosphate, sous forme d'un précipité très fin, induit par la trame cristalline originelle, saturant les micro-porosités dues à la disparition des matières organiques ou à des déficits minéraux localisés, et uniformisant ainsi la densité minérale des différentes phases de la dentine.

Le remplissage des canalicules par de l'apatite justifierait en outre que leur radio-opacité soit identique à celle de ce tissu. Les lacunes dans certains de ces remplissages rendraient compte de la présence de quelques canalicules transparents sur les microradiographies; mais là où je les ai observées, elles ne correspondent peut être qu'à des artefacts de coupe dus au manque de cohésion de ces gros cristaux.

Le cas de la dent 253 que je n'ai malheureusement pas pu étudier en microscopie électronique est un peu différent. La continuité entre taches jaunes et enduits ferrugineux externes attribués à de la limonite, permet de supposer qu'un oxyde de fer, comme de la goethite, aurait pu intervenir dans la minéralisation de la dent. Toutefois, la coloration généralement pâle de la dentine et la biréfringence de forme très faible par rapport à celle de la goethite suggèrent une faible concentration de ce minéral et il est très probable qu'une imprégnation phosphatée soit responsable en premier lieu, là aussi, de l'opacification de la dentine aux rayons X. La présence du fer rendrait compte toutefois de l'inversion de la structure normale dans les zones les plus colorées et de l'extrême opacité des canalicules dentinaires. En l'absence d'analyses chimiques, d'études de diffraction X ou de microsondages électroniques, cette interprétation ne peut être, évidemment, que très conjecturale.

L'apparence normale du spécimen 243 enfin, contrastant avec les remaniements qui viennent d'être discutés, tendrait à montrer que les ossements

conservés dans des sédiments hétérogènes comme les Phosphorites du Quercy ont pu connaître des évolutions minérales très dissemblables. Mais la patine de cette dent, qui est en même temps la plus affectée par des altérations *post mortem* biologiques, et les fragments de gangue y adhérant, évoquent le gisement de Lamandine, localité non distinguée des autres gisements du Quercy dans les anciennes collections, mais qui appartient en fait à un horizon calcaire stratifié donc très distinct des gisements à phosphorite dont il est question ici; le cas de cette dent reste donc douteux.

L'imprégnation de la dentine par des oxydes de fer et l'oblitération des canalicules par différents minéraux ont déjà été décrits [8] [10] [13] [17] [25]. Par contre et bien que de nombreux travaux concernent les apatites des ossements fossiles, sur le plan chimique ou cristallographique, l'enrichissement quantitatif en phosphate mis en lumière ici, grâce à ses répercussions sur la structure dentinaire, n'avait jamais été que soupçonné [13]. Il s'agit d'une évolution minérale liée évidemment à l'enfouissement des ossements dans un milieu riche en phosphate, et qu'il serait intéressant de rechercher également dans l'os; elle pourrait être à l'origine de la remarquable résistance mécanique de la plupart des spécimens recueillis dans ce type de gisements.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BORNET E. et FLAHAULT C., 1889. — Sur quelques plantes vivant dans le test calcaire des Mollusques. *Bull. Soc. bot. Fr.*, **36** (Congrès de Bot. Paris): CXLVII-CLXXVII.
- [2] BRAUER R., 1962. — Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchungen an tertiären Säugetierzähnen. *Paläont. Z.*, **36** (1): 93-98.
- [3] CAVAILLÉ A., 1973. — La région des Phosphorites du Quercy. *Palaeovertebrata, Montpellier*, **6** (1-2): 5-19.
- [4] DOBERENZ A.R. and WYCKOFF R.W.G., 1967. — The microstructure of fossil teeth. *J. Ultrastr. Res.*, **18**: 166-175.
- [5] FRANK R.M., 1957. — Contributions à l'étude au microscope électronique des tissus calcifiés normaux et pathologiques. Thèse, Faculté de Médecine de Strasbourg, n° 42, 96 p.
- [6] FRANK R.M., 1963. — Les éléments cristallins inorganiques des tissus dentaires calcifiés normaux et pathologiques. *Acta hist.*, **3** (suppl.): 64-88.
- [7] FRANK R.M., WOLFF F. et GUTMANN B., 1964. — Microscopie électronique de la carie au niveau de la dentine humaine. *Arch. Oral Biol.*, **9**: 163-179.
- [8] MATTER P. III, DAVIDSON F.D. and WYCKOFF R.W.G., 1970. — The microstructure and composition of some Pliocene fossils. *Comp. Biochemic. Physiol., G.B.*, **35** (2): 291-298.
- [9] NALBANDIAN J., GONZALES F. and SOGNAES R.F., 1960. — Sclerotic age changes in root dentin of human teeth as observed by optical, electron and X-ray microscopy. *J. Dent. Res.*, **39**: 598-607.

- [10] PERINET G., 1959. — Etude par diffraction des rayons X de la structure des ossements fossiles. *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, **82** : 31-61.
- [11] POOLE D.F.G., 1956. — The structure of the teeth of some mammal-like reptiles. *Quart. J. micr. Sci.*, **97** : 303-312.
- [12] REMY J.A., 1972. — Evolution d'une structure histologique chez les Périssodactyles : le développement de la dentine péricanaliculaire. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **274**, sér. D : 2026-2029.
- [13] ROGERS A.F., 1924. — Mineralogy and petrography of fossil bone. *Bull. geol. Soc. Am.*, **35** : 535-556.
- [14] ROUX W., 1887. — Ueber eine im Knochen lebende Gruppe von Fadenpilzen (*Mycelites ossifragus*). *Z. f. wissenschaft. Zool.*, Leipzig, **45** : 227-255.
- [15] SCHAFFER J., 1890. — Ueber den feineren Bau fossiler Knochen. *Sitzungsber. d. k. Akad. Wiss., Wien*, **98** (3) : 319-382.
- [16] SCHAFFER J., 1895. — Bemerkungen zur Geschichte der Bohrkanäle in Knochen und Zähnen. *Anat. Anz.*, **10** : 459-464.
- [17] SCHMIDT W.J., 1959. — Ueber orientierte Einlagerung von Eisenoxyd in die Fibrillenröhrchen des Zahnbeins. Ein Beitrag zur histochemischen Analyse mit Hilfe der Polarisationsoptik. *Histochemie*, **1** : 247-250.
- [18] SCHMIDT W.J. and KEIL A., 1971. — Polarizing microscopy of dental tissues. Pergamon Press ed., Oxford, New York.
- [19] SOGNAES R.F., 1955. — Postmortem microscopic defects in the teeth of ancient man. *Arch. Pathol.*, **59** : 559-570.
- [20] THOMASSET J.J., 1931. — Sur un champignon fossile : *Mycelites ossifragus* (ROUX). *Bull. Soc. géol. Fr.*, **5** (1) : 597-603.
- [21] WEDL C., 1858. — Ueber die Bedeutung der in den Schalen von manchen Acephalen und Gasteropoden vorkommenden Kanäle. *Wiener Akad. Sitzungsber.* **33** : 451-472.
- [22] WEDL C. — 1864. Ueber einen im Zahnbein und im Knochen keimenden Pilz. *Sitzungsber. d. k. Akad. Wiss., Wien*, **50** (1) : 171-193.
- [23] WERELDS R.J., 1962. — Nouvelles observations sur les dégradations post mortem de la dentine et du cément des dents inhumées. *Bull. Group. Int. Rech. Sci. Stom.*, **5** : 554-591.
- [24] WERELDS R.J., 1967. — Du moment où apparaissent dans les dents humaines les altérations post mortem en forme d'évidements canaliculaires. Présence de lésions dentaires identiques in vivo chez des poissons. *Bull. Group. Int. Rech. Sci. Stom.*, **10** : 419-447.
- [25] WYCKOFF R.W.G., HOFFMANN V.F. and MATTER P. III, 1963. — Micro-radiography of fossilized teeth. *Science*, **140** : 78-80.

EXPLICATION DES PLANCHES

Légende. — C : Cément, CD : Canalicule dentinaire, D : Dentine, DI : Dentine intercanaliculaire, DP : Dentine péricanaliculaire, E : Email.

PLANCHE I

Altérations *post mortem* d'origine biologique dans la dentine et le cément.

1. — *Palaeotherium magnum* Phosphorites du Quercy (224). Galeries tubulaires peu ramifiées à proximité de l'émail. (× 95)
2. — Même dent. Galeries non ramifiées à nodosités internes. (× 140)
3. — *Palaeotherium siderolithicum* Phosphorites du Quercy (243). Intégrité des canalicules dentinaires dans les zones altérées. (× 350)
4. — *Anchilophus dumasi* Phosphorites du Quercy (155). Galeries ramifiées; noter le changement de diamètre des galeries entre dentine et cément. (× 140)
5. — *Plagiolophus fraasi* Phosphorites du Quercy (227). Galeries en faisceaux parallèles ramifiés. (× 230)
6. — Même dent. Même type d'altérations. (× 140)
7. — *Palaeotherium magnum* Phosphorites du Quercy (224). Masses « cotonneuses ». (× 330)
8. — *Plagiolophus fraasi* Phosphorites du Quercy (227). Large galerie contournée avec amorces de ramifications. (× 330).

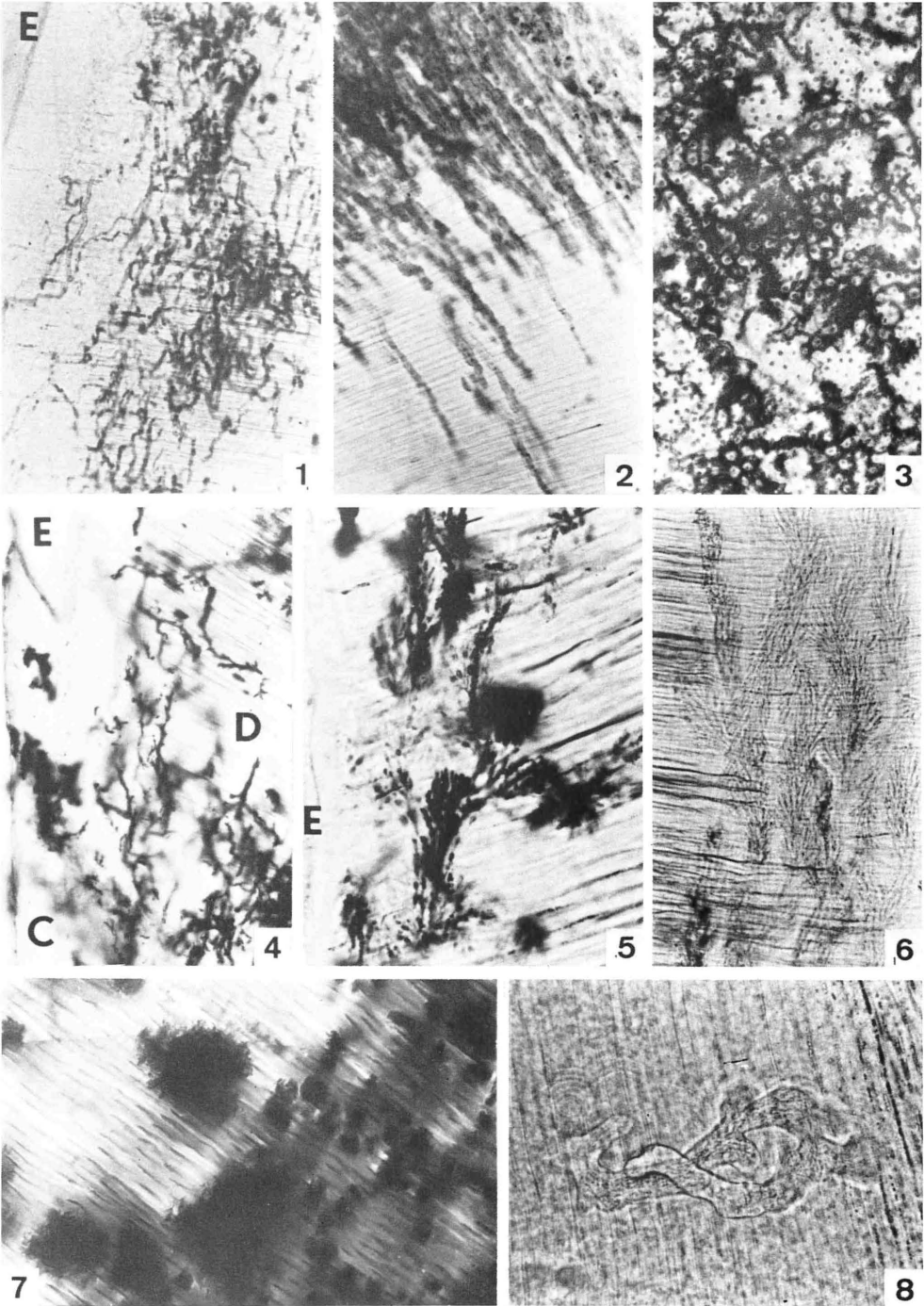


PLANCHE II

Remaniements minéraux *post mortem*
observés au niveau de la dentine péricanaliculaire sur des coupes perpendiculaires
aux canalicules.

9. — *Plagiolophus annectens* Euzet. Aspect normal de la dentine. ($\times 350$)
a: lumière naturelle. — *b*: lumière polarisée, nicols croisés. Les pseudo
croix noires résultent de l'arrangement concentrique des cristallites de
la DP. — *c*: microradiographie mettant en évidence la vacuité des CD
et l'hyperminéralisation de la DP.
10. — *Palaeotherium siderolithicum* Phosphorites du Quercy (223). Aspect de la
DP en lumière naturelle. ($\times 560$)
11. — *Plagiolophus fraasi* Phosphorites du Quercy (253). ($\times 350$)
a: lumière naturelle. — *b*: microradiographie. Inversion de la DP dans
les zones tachées de jaune (en bas à droite) et son absence apparente dans
les zones non colorées (seule subsiste alors la trace des CD — oblitérés
par un minéral radio-opaque —, sous forme de petits traits blancs).
12. — Même dent. Microradiographie. Inversion de la structure normale de la
dentine dans une plage teintée en jaune (voir Fig. 14). ($\times 350$)

REMY : ALTÉRATIONS POST MORTEM

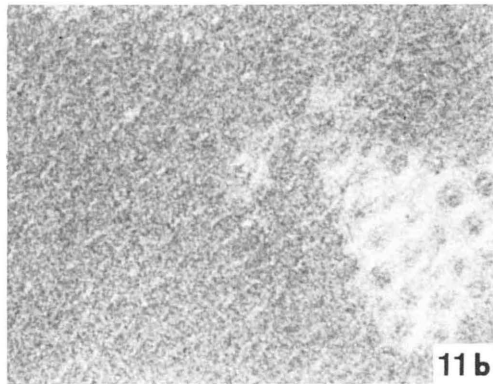
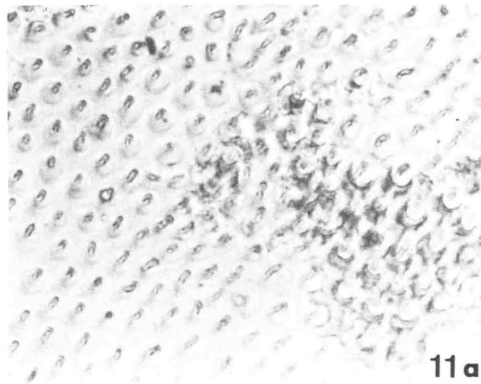
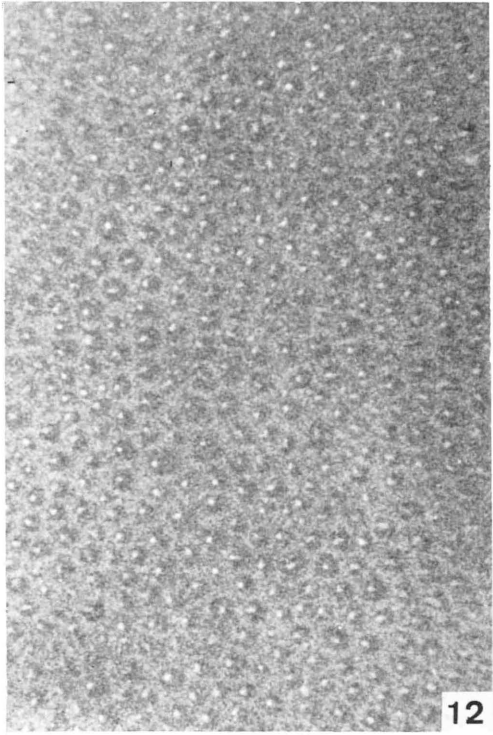
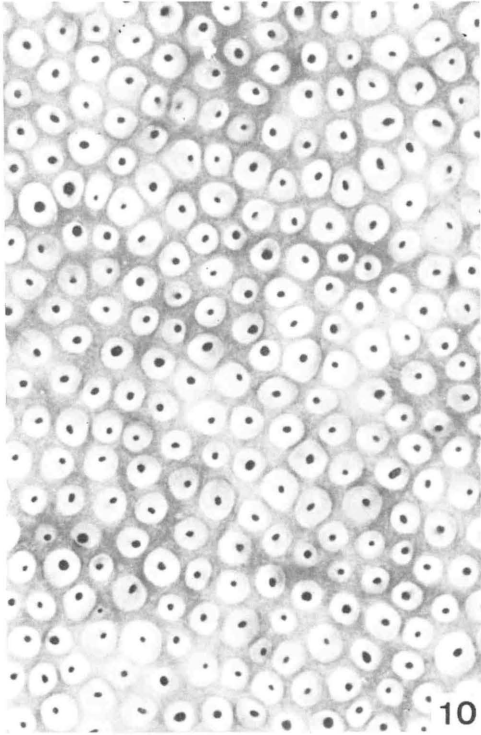
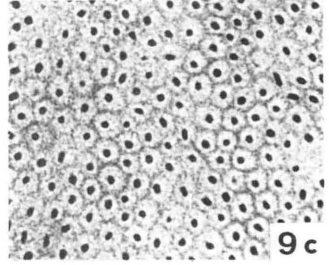
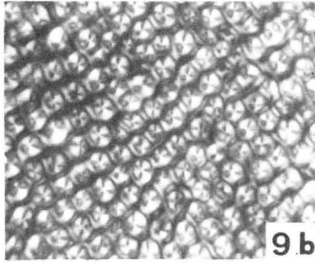
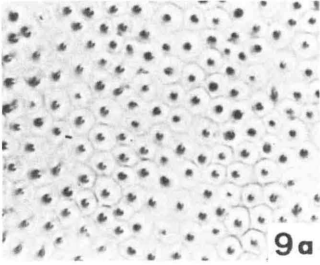


PLANCHE III

Remaniements minéraux *post mortem*.

Dentine péricanaliculaire observée sur des coupes parallèles aux canalicules.

13. — *Plagiolophus annectens* Euzet. Minéralisation normale de la dentine. (× 230)
a : lumière naturelle. — b : lumière polarisée, nicols croisés. — c : micro-radiographie.
14. — *Plagiolophus fraasi* Phosphorites du Quercy (253). Imprégnation colorée de la DI. (× 350)
15. — Même dent. a : lumière polarisée. — b : microradiographie. La DP est moins radio-opaque que la DI. (× 215)
16. — *Plagiolophus minor* Phosphorites du Quercy (225). Aspect de la DP en lumière naturelle. (× 780)

Zones interglobulaires de Czermak.

17. — *Palaeotherium medium* Euzet. Zones interglobulaires en lumière naturelle. (× 330)
18. — *Palaeotherium medium* Euzet. Microradiographie montrant l'hypocalcification normale de ces zones. (× 230)
19. — *Palaeotherium magnum* Phosphorites du Quercy (224). (× 560)
a : lumière naturelle; on distingue en haut à gauche une zone interglobulaire. b : microradiographie : uniformisation complète de la structure dentinaire.

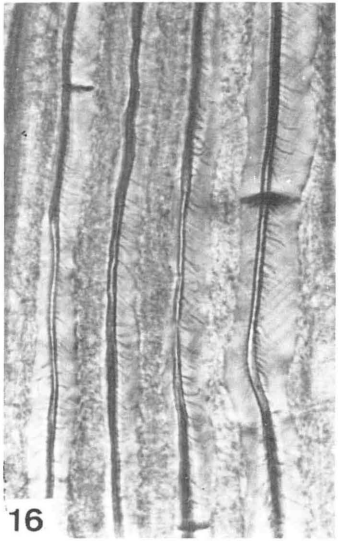
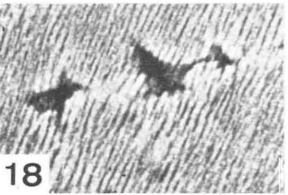
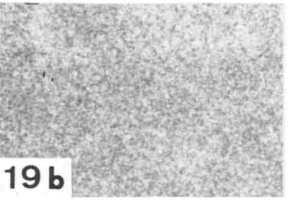
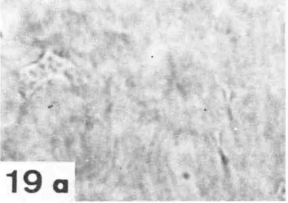
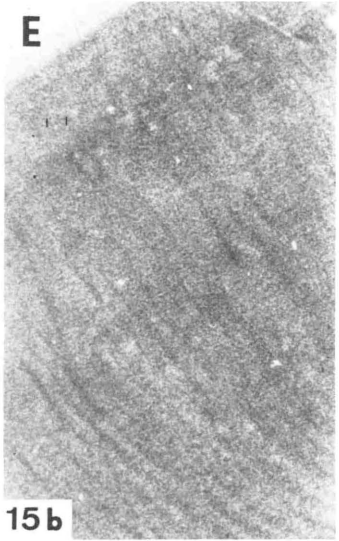
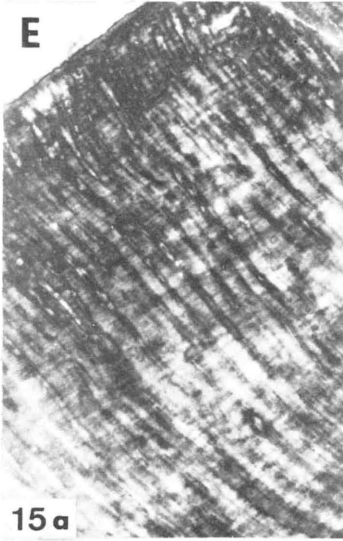
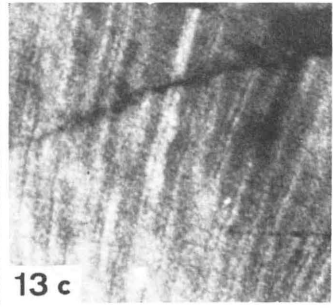
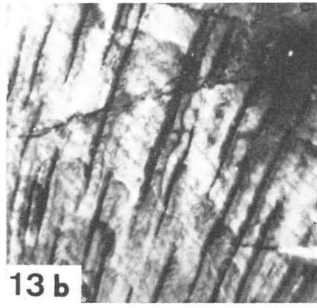
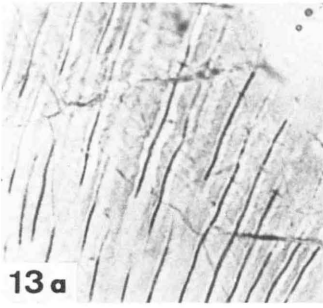


PLANCHE IV

Remaniements minéraux *post mortem*.

Coupes de dentine perpendiculaires aux canalicules en microscopie électronique.

20. — *Palaeotherium castrense* Robiac. Aspect normal de la dentine dans une molaire non abrasée : vacuité des CD, orientations différentes des cristallites dans la DP et la DI. *a* : ($\times 23\ 000$). — *b* : ($\times 50\ 000$).
21. — *Palaeotherium magnum* Phosphorites du Quercy (224). Remplissage cristallin d'un canalicule et dédoublement de la DP. ($\times 16\ 500$)
22. — Même dent. Remplissage cristallin d'un canalicule. ($\times 16\ 500$)
23. — Même dent. *a* : ($\times 15\ 000$) Remplissage vacuolaire d'un canalicule; la densité des cristallites de la DI semble accrue. — *b* : ($\times 50\ 000$). Noter la section hexagonale (flèche).

