

Etude semi-quantitative in vitro du mordançage de l'émail humain : observations au microscope électronique à balayage

J. RODDE

Faculté d'Odontologie, Université de Lyon (France).

RÉSUMÉ

L'efficacité du mordançage, par les acides lactique, citrique, chlorhydrique et orthophosphorique a été étudiée en microscopie électronique à balayage, sur 557 surfaces d'émail humain et évaluée de façon semi-quantitative, en utilisant la classification de Silverstone et coll. (1975) pour le degré d'atteinte des prismes d'émail et l'échelle de 6 points de Sheykholeslam et Buonocuore (1972) pour l'appréciation du degré de mordançage.

Les acides lactique et citrique se sont révélés inefficaces, les acides chlorhydrique et phosphorique efficaces à des concentrations moyennes de 20 à 50%. La durée optimale du mordançage est de 1 minute: si l'on prolonge le mordançage, il se produit une atteinte de la sub-surface de l'émail et un morcellement de la croûte superficielle en plaques qui adhèrent mal à l'émail sous-jacent. Seule la suppression de la couche hyperminéralisée de surface (abrasion à la fraise diamantée), préalablement au mordançage, permet d'obtenir des microporosités, zones de rétention, également réparties sur toute la surface de l'échantillon. La préparation mécanique des surfaces apparaît surtout nécessaire pour le mordançage des dentures temporaires et des dents permanentes « matures » (présentes sur l'arcade au-delà de 5 ans et en-deça de 50 ans) et âgées (au-delà de 50 ans).

MOTS-CLES:

Mordançage - émail humain - acide lactique - acide citrique - acide chlorhydrique - acide phosphorique - MEB.

SUMMARY

The efficiency of etching using lactic, citric, hydrochloric and phosphoric acids has been studied with the scanning electron microscope on 557 human enamel surfaces. A semi-quantitative assessment has been performed with reference to Silverstone et al.'s classification (1975) as regards the demineralization stages of enamel prisms and to Sheykholeslam and Buonocuore's 6 points scale as regards the etching degrees. Lactic and citric acids proved ineffective. Hydrochloric and phosphoric acids were efficient between 20 and 50% concentrations. A 1 minute etching seems optimal. A long-continued etching induces crackling of the surface enamel layer into patches which do not stick properly to the underlying enamel. Only the removal of the hypermineralized surface layer (using a diamond wheel) allows to obtain microporosities evenly distributed all over the sample surface. A mechanical treatment of enamel surfaces prior to etching is necessary especially when temporary teeth or « mature » (between 5 and 50) or « aged » (over 50) teeth are concerned.

KEY WORDS:

Etching - human enamel - lactic acid - citric acid - hydrochloric acid - phosphoric acid - SEM.

INTRODUCTION

Le mordantage est une méthode de traitement des tissus minéralisés basée sur le principe de la dissolution du système cristallin par un agent corrosif ou mordant. Le mordantage entraîne la perte d'une pellicule d'émail aprismatique située à la surface externe de la couronne et crée des microrétentions dans l'émail prismatique sous-jacent. Ce procédé, proposé par Buonocore en 1955, a permis, grâce à l'amélioration constante des résines composites, d'augmenter considérablement les indications des collages en odontologie. Il s'agit donc d'un procédé ancien, bien connu et, en principe, bien maîtrisé. Or, si l'on se réfère aux nombreuses publications traitant de l'efficacité du mordantage de l'émail, des disparités apparaissent dans les résultats expérimentaux et les conditions optimales pour l'utilisation du mordantage ne sont pas bien définies. Les avis divergent, en effet, en ce qui concerne la nature et la concentration des acides utilisés, la durée du mordantage, le degré de préparation mécanique des surfaces. La question se pose alors de savoir si les consignes d'utilisation diffusées par les fabricants de composites sont fiables. C'est pour répondre à cette question que nous avons, à l'aide du microscope électronique à balayage, examiné l'état des surfaces d'émail mordancé et tenté d'évaluer leur potentialité de rétention.

MATERIEL ET METHODES

Notre étude porte sur 557 échantillons de dents humaines saines, 80 provenant de dentures temporaires, 477 de dentures permanentes. Des incisives, canines et molaires temporaires, ont été extraites chez de jeunes patients (8 ans en moyenne), pour des raisons orthodontiques. Selon que les racines étaient peu ou moyennement résorbées ou que la résorption s'étendait aux deux-tiers de la racine, nous avons considéré qu'il s'agissait de dents « matures », dans le premier cas, « âgées », dans le second (Tableau I).

Tableau I
Nature des dents temporaires examinées.

Table I
Types of primary teeth examined.

	Incisives		Canines		Molaires	
	matures	âgées	matures	âgées	matures	âgées
maxillaires	3	2	3	7	7	13
mandibulaires	5	2	9	6	5	18
nombre total	12		25		43	

Dans le cas de dentures permanentes, sont considérés comme « jeunes » les germes dentaires et les dents présentes sur l'arcade depuis moins de 5 ans (Brudevold et coll., 1982), « matures », au-delà de 5 ans et en deçà de 50, âge à partir duquel les dents sont considérées comme « âgées » (Tableau II).

Quatre degrés d'abrasion mécanique des surfaces d'émail ont été pratiqués :

1er degré : utilisation de pâte ponce (+ eau) appliquée pendant 1 minute;

2ème degré : polissage effectué avec des disques abrasifs de granulométrie croissante (PD polyester abrasive polishing discs Carnet fine, S.A. Vevey et Soft-lex Pop-on G contouring and polishing discs n° 1980, 3 M), à sec, chaque disque étant utilisé pendant 2 minutes;

3ème degré : utilisation d'une meulette à grain moyen (special aluminium oxide wheels réf. 5006, 7/8 × 1/8, Dedeco);

4ème degré : utilisation d'une turbine équipée d'une pointe diamantée fine (221/014 F6, Horico), sous spray.

Ont été testés, parfois à différentes concentrations, les acides indiqués dans le tableau III, par référence à la classification de Silverstone et coll. (1975), établie selon le degré d'atteinte des prismes d'émail.

Tableau II
Nature des dents permanentes examinées.

Table II
Types of permanent teeth examined.

Incisives		Canines		Prémolaires		Molaires	
matures	âgées	matures	âgées	jeunes	matures	jeunes	matures
16	26	19	17	48	18	24	64
27	31	17	13	46	26	28	57
100		66		138		173	

Tableau III
Acides utilisés pour le mordantage.

Table III
Types of acids used as etching agents.

- **Acide chlorhydrique** : 0,02 M; 0,1 M; 0,2 M; 0,5 et 1 M.
- **Acide citrique** : 1,3 % w/w (en poids)
- **Acide lactique** : 20 % vol.
- **Acide orthophosphorique** :
 - concentrations faibles : 0,5 %; 1 %; 2 %; 5 et 10 % vol.
 - concentrations moyennes : 20 %; 30 %; 40 et 50 %.
 - fortes concentrations : 60 %; 70 et 85 %.

Des temps de mordançage de 1 à 5 minutes ont été utilisés. La quantité rétentive des surfaces a été évaluée selon deux méthodes:

- 1) observation de la surface interne d'une résine composite (Spad) appliquée sur des surfaces mordancées et appréciation de la pénétration du matériau;
- 2) observation des surfaces mordancées et appréciation du degré de mordançage selon une échelle de 6 points (Sheykholeslam et Buonocuore, 1972) (Tableau IV).

Cette méthode permet d'évaluer la profondeur des microrétentions obtenues et leur répartition à la surface de l'échantillon.

Les dents ont été métallisées à l'or par pulvérisation cationique et observées au microscope électronique à balayage sous une tension de 15 kV.

Tableau IV
Echelle d'évaluation du mordançage (d'après Sheykholeslam et Buonocuore (1972)).
Table IV
Scale for etching assessment according to Sheykholeslam and Buonocuore (1972).

1	correspond à une surface lisse,
2	à un mordançage insuffisant ne présentant aucune qualité de rétention,
3	1/3 de la surface présente des microanfractuosités efficaces,
4	1/2 de la surface présente des microanfractuosités efficaces,
5	3/4 de la surface présentent des microanfractuosités,
6	mordançage excellent sur toute la surface de l'échantillon.

1	smooth surface,
2	ineffective etching (enamel surface is not retentive),
3	1/3 of enamel surface shows efficient microporosities,
4	half of enamel surface shows efficient microporosities,
5	3/4 of enamel surface shows efficient microporosities,
6	etching is excellent over the whole enamel surface.

RESULTATS

Observées au microscope électronique à balayage, les surfaces mordancées ont un aspect hétérogène.

La répartition des types de mordançage (Figs 1, 2, 3 et 4), selon la classification de Silverstone et coll. (1975) apparaît dans le tableau V.

Les tableaux VI. VII. VIII. IX et X indiquent, en fonction du degré d'abrasion mécanique préalable, l'efficacité du mordançage, estimée selon le tableau IV.

Pour les dents non abrasées, ou simplement poncées, la densité des microrétentions obtenues par mordançage varie avec le type de denture (l'émail des dents temporaires résiste bien à l'attaque acide) (Fig. 5) et avec le degré de minéralisation de l'émail (Tableau X).

Le nombre des microporosités, sur les dents permanentes de sujets jeunes, est supérieur à celui que l'on observe sur les dents matures ou âgées. La répartition des zones mordancées de façon efficace se fait, le plus souvent, selon le trajet des perikymaties (Fig. 6). Sur les dents matures, et plus encore sur les dents de sujets âgés, l'efficacité de l'attaque par les acides est fonction de la hauteur de la portion d'émail de la couronne considérée. Pour les faces vestibulaires et linguales, la formation de microporosités est toujours plus importante au niveau du tiers moyen.

L'attaque par les acides induit un mordançage mieux réparti et plus homogène après abrasion mécanique (Figs 7 et 8).

Tableau V
Répartition selon les *etching patterns* définis par Silverstone.
Table V
Distribution according to the etching patterns established by Silverstone et al. (1975).

	Type 1	Type 2	Type 3
Totalité de l'échantillon	16 σ ₀	44 σ ₀	40 σ ₀
denture temporaire	12,5 σ ₀	50 σ ₀	37,5 σ ₀
denture permanente	16 σ ₀	43 σ ₀	42 σ ₀
	16 26 19 17	48 18 24	64
	27 31 17 13	46 26 28	57
100	66	138	173

Tableau VI
Efficacité du mordançage sur surfaces poncées.
Table VI
Efficiency of etching on pumiced surfaces.

qualité du mordançage	1	2	3	4	5	6
nombre d'échantillons	46	106	60	0	1	0
pourcentage	21,5	50	28	0	0,5	0

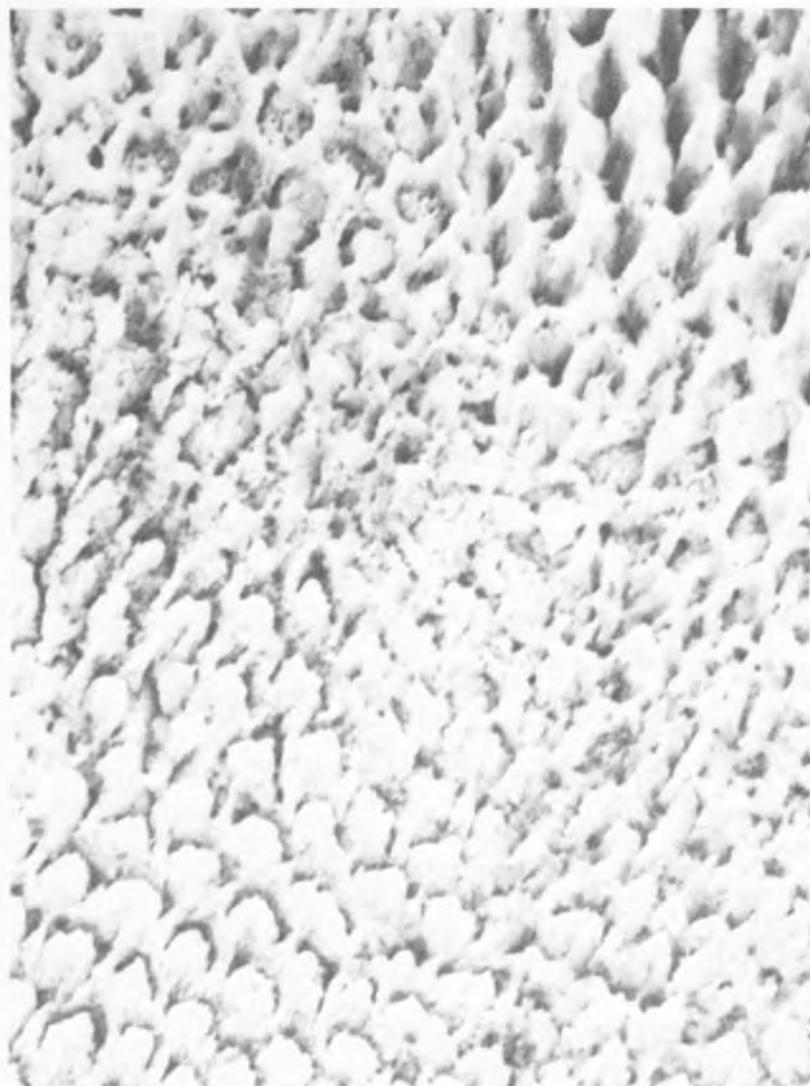


Fig. 1: Mordançage de type 1 selon Silverstone et coll. (1975). Dissolution préférentielle du corps des prismes. MEB \times 1700 environ.

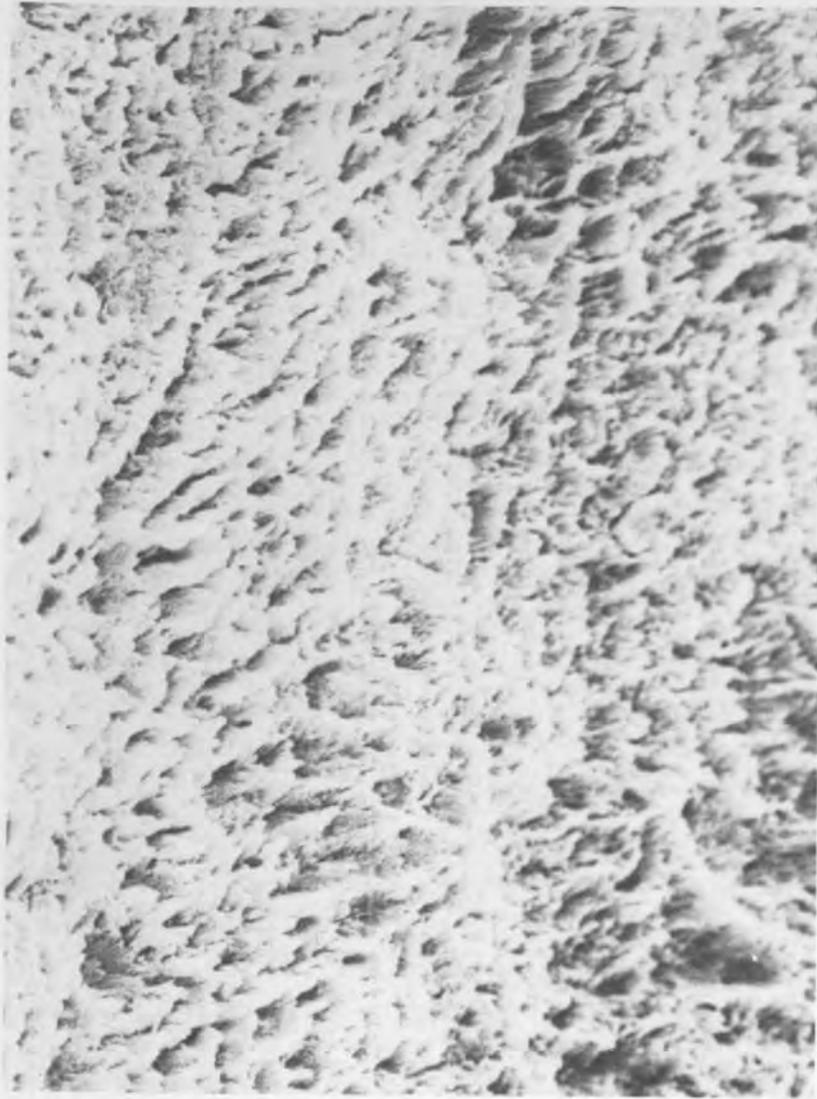
Fig. 1: Etching pattern type 1 according to Silverstone et al. (1975). Preferential dissolution of prism cores. SEM \times about 1700.

Fig. 2: Mordançage de type 2 selon Silverstone et coll. (1975). Dissolution préférentielle de la zone interprismatique. MEB \times 4600 environ.

Fig. 2: Etching pattern type 2 according to Silverstone et al. (1975). Preferential dissolution of prism periphery. SEM \times about 4600.

Fig. 3: Mordançage de type 3 selon Silverstone et coll. (1975). Sur un même échantillon, se trouvent des prismes mordancés selon les types 1 ou 2. MEB \times 860 environ.

Fig. 3: Etching pattern type 3 according to Silverstone et al. (1975). Type 1 and type 2 prism dissolution are found together in a same sample. SEM \times about 860.



4



5

Fig. 4: Autre variété de mordançage de type 3 selon Silverstone et coll. (1975). La forme des prismes n'est plus reconnaissable. MEB \times 670 environ.

Fig. 4: Another aspect of etching pattern type 3. The prism morphology is no longer visible. SEM \times about 670.

Fig. 5: Canine temporaire. Nettoyage à la ponce sur cupule caoutchouc. Mordançage H_3PO_4 50% vol. pendant 2 mn. La surface est très peu altérée. Les stries (flèches) sont dues au nettoyage à la ponce. MEB \times 660 environ.

Fig. 5: Primary cuspid. Surface pumiced and etched with 50% H_3PO_4 during 2 mn. Enamel surface is virtually unchanged. Scratches arrows are due to polishing. SEM \times about 660.

Fig. 6: Face proximale d'une prémolaire jeune. Abrasion mécanique (meulette Dedeco). Mordançage H_3PO_4 40% vol. pendant 1 mn.

L'attaque des prismes suit le trajet des périkyrmaties. MEB \times 170 environ.

Fig. 6: Proximal face of a young premolar. Mechanical abrasion (oxide wheel Dedeco). Etching with 40% H_3PO_4 during 1 mn. The etching pattern follows the outlines of the perikymata. SEM \times about 170.



6

Tableau VII
Efficacité du mordantage sur surfaces d'émail polies avant mordantage avec des disques émerisés.

Table VII
Efficiency of etching on surfaces polished with emery discs.

qualité du mordantage	1	2	3	4	5	6
nombre d'échantillons	2	11	8	0	0	0
pourcentage	10	52	38	0	0	0

Tableau VIII
Efficacité du mordantage sur surfaces d'émail préalablement abrasées à la meulette verte Dedeco.

Table VIII
Efficiency of etching on surfaces abrade with special aluminium oxide wheels Dedeco.

qualité du mordantage	1	2	3	4	5	6
nombre d'échantillons	4	8	24	37	10	0
pourcentage	/	9,5	29	44,5	12	0

Tableau IX
Efficacité du mordantage sur surfaces d'émail préalablement abrasées à la pointe diamantée.

Table IX
Efficiency of etching on surfaces abraded with diamond disc.

qualité du mordantage	1	2	3	4	5	6
nombre d'échantillons	0	16	16	41	61	69
pourcentage	0	8	8	20	30	34

Tableau X
Efficacité du mordantage sur surfaces poncées en fonction de l'âge des dents temporaire et définitives.

Table X
Efficiency of etching on pumiced surfaces of permanent and primary teeth according to age.

	Denture temporaire		Denture permanente	
	matures	âgées	jeunes	adultes et âgées
1	5	3	6	32
2	2	5	36	63
3	0	0	49	11
5	0	0	1	0

L'influence du degré d'abrasion de la couche la plus superficielle de l'émail sur l'efficacité du mordantage apparaît sur les histogrammes (Fig. 9). Après utilisation de pâte ponce ou de disques émerisés, le mordantage est pratiquement sans effet sur 99,5 à 100% des surfaces. Après utilisation de meulette abrasive, 56,5% des spécimens présentent une rétention sur la moitié au moins de la surface soumise au mordantage et 84% avec la pointe diamantée (Fig. 14). Les possibilités de rétention des surfaces sont en relation avec une dissolution sélective de l'émail selon la structure prismatique (Figs 1, 2, 7 et 8) ainsi qu'avec les ondulations ou rainures produites par l'instrument (Fig. 15).

Les données concernant l'efficacité comparée des acides, à différentes concentrations, apparaissent dans les figures 10 et 11. En ce qui concerne la durée du mordantage, les essais effectués pendant des temps longs (3, 4 et 5 minutes) indiquent que l'application prolongée d'acide induit, sous une couche d'émail aprismatique qui résiste à l'attaque acide en de nombreux points, une diffusion dans la subsurface. Sous une croûte d'émail miné, morcelé, l'émail sous-jacent est fortement modifié (Fig. 12). L'émail des dents préalablement abrasées est éliminé par couches successives (Fig. 13). Les microanfractusités sont situées sur plusieurs plans.

DISCUSSION

Le présent travail permet d'analyser l'influence respective des quatre paramètres testés — type d'abrasion, nature et concentration de l'agent de mordantage, durée du mordantage — sur la qualité et donc l'efficacité du procédé.

L'importance de la destruction de la couche la plus superficielle de l'émail par *abrasion mécanique préalable* a été démontrée. On sait, en effet, que la suppression de la couche aprismatique d'émail est nécessaire, surtout en ce qui concerne la denture temporaire (Conniff et Hamby, 1976; Eidelman, 1976; Fuks et coll., 1977; Bozalis et coll., 1979; Meola et Papaccio, 1986). Sheykholeslam et Buonocuore, dès 1972, puis Dennison et Craig (1978), Schneider et coll. (1981), Retief et coll. (1985), Shapira et Eidelman (1985) préconisent une abrasion mécanique de la couche de surface hyperminéralisée. On a pu ainsi constater une augmentation de 24 à 84% de la force d'adhésion dent/résine après abrasion mécanique des surfaces à la fraise diamantée (Aker et coll., 1979).

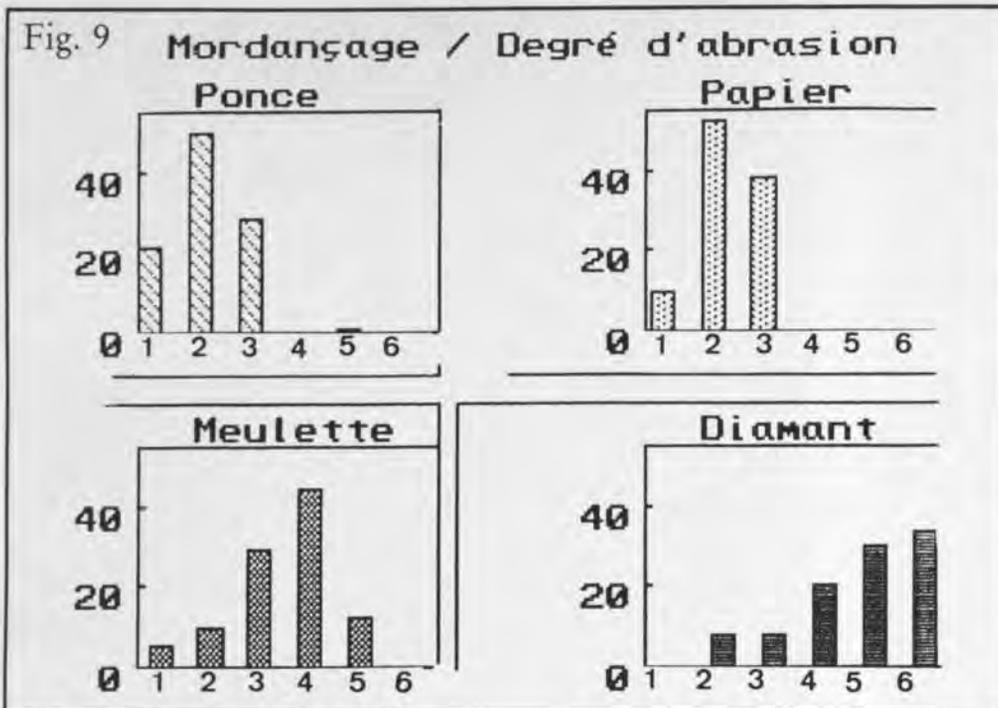


Fig. 9: Influence du degré d'abrasion mécanique des surfaces d'émail sur l'efficacité du mordançage (numérotation de 1 à 6 par référence à l'échelle de 6 points de Sheykholeslam et Buonocuore (1972).
 Fig. 9: Efficiency of etching (numbering from 1 to 6, according to Sheykholeslam and Buonocuore's 6 points scale (1972) correlated with type of mechanical treatment: from left to right and top to bottom: pumicing slurry applied with rubber cup; polyester abrasive polishing disc, garnet fine; special aluminium oxide wheel; diamond disc, garnet fine.

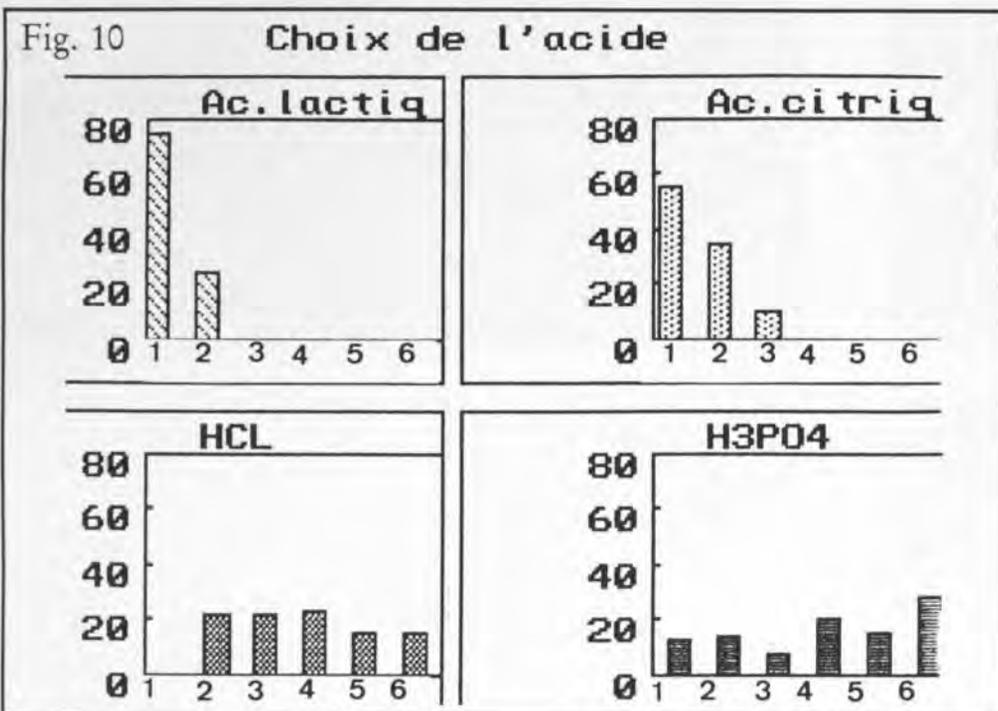


Fig. 10: Efficacité des acides lactique, citrique, chlorhydrique et orthophosphorique comme agents de mordançage. En abscisse: scores obtenus pour les surfaces traitées, des moins atteintes (à gauche) à celles où les zones de rétention sont les plus nombreuses (numérotation de 1 à 6 par référence à l'échelle de 6 points de Sheykholeslam et Buonocuore (1972); en ordonnée: pourcentage de surfaces concernées par chaque score.
 Fig. 10: Comparative efficiency of lactic, citric, hydrochloric and phosphoric acids as etching agents. X-axis: scores obtained from no etching (one the left) to strong etching (numbering from 1 to 6, according to Sheykholeslam and Buonocuore (1972)'s 6 points scale.

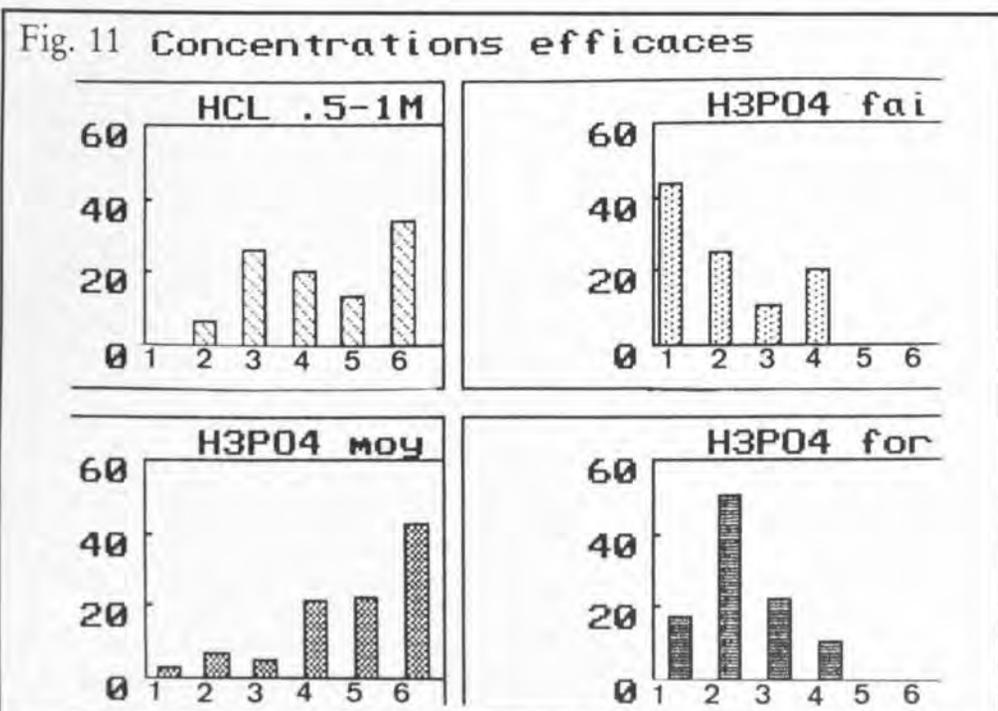


Fig. 11: Concentrations les plus efficaces pour HCl et H_3PO_4 (fai: concentrations faibles, 05%, 1%, 2%, 5 et 10%; moy: concentrations moyennes, 20%, 30%, 40 et 50%; for: concentrations fortes, 60%, 70%, 85%). Le degré de mordançage est apprécié de 1 à 6 selon l'échelle de Sheykholeslam et Buonocuore (1972).
 Fig. 11: Efficient concentrations for HCl and H_3PO_4 (fai: low concentrations, 05%, 1%, 2%, 5 and 10%; moy: medium concentrations, 20%, 30%, 40 and 50%; for: high concentrations, 60%, 70%, 85%). Assessment of etching degree from 1 to 6 according to Sheykholeslam and Buonocuore's scale (1972).

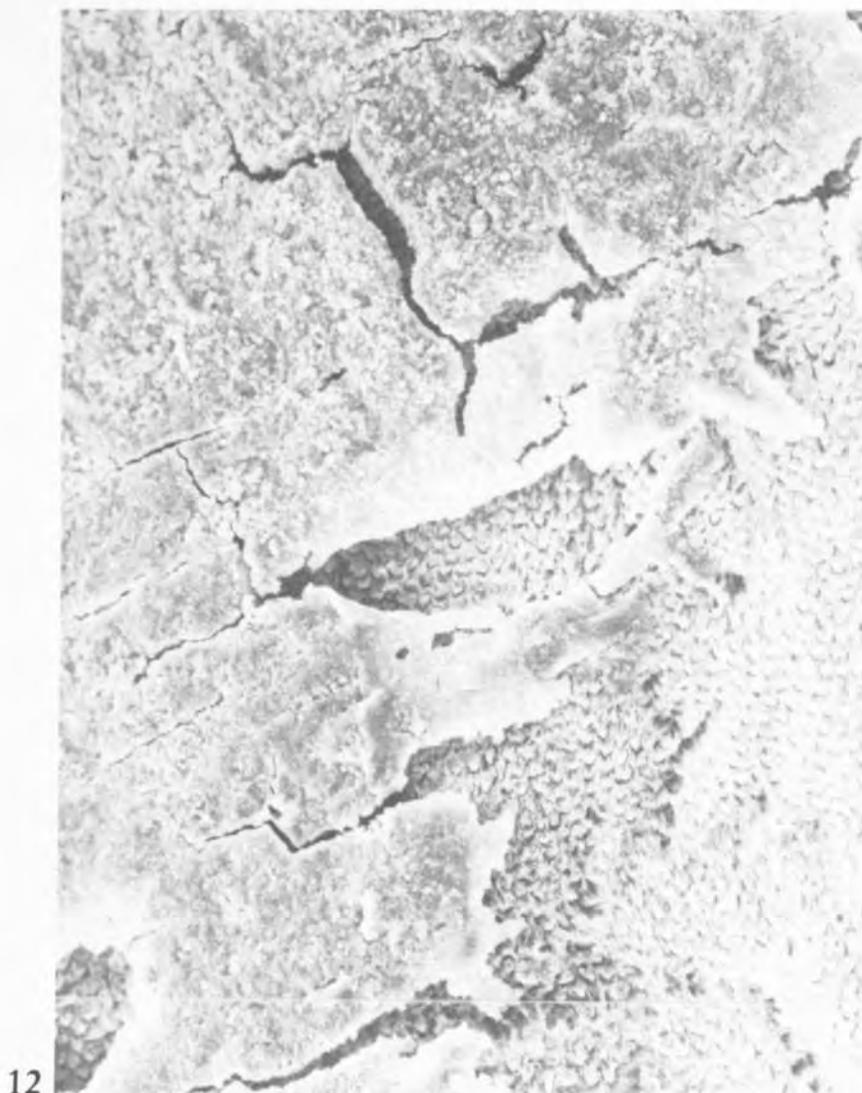
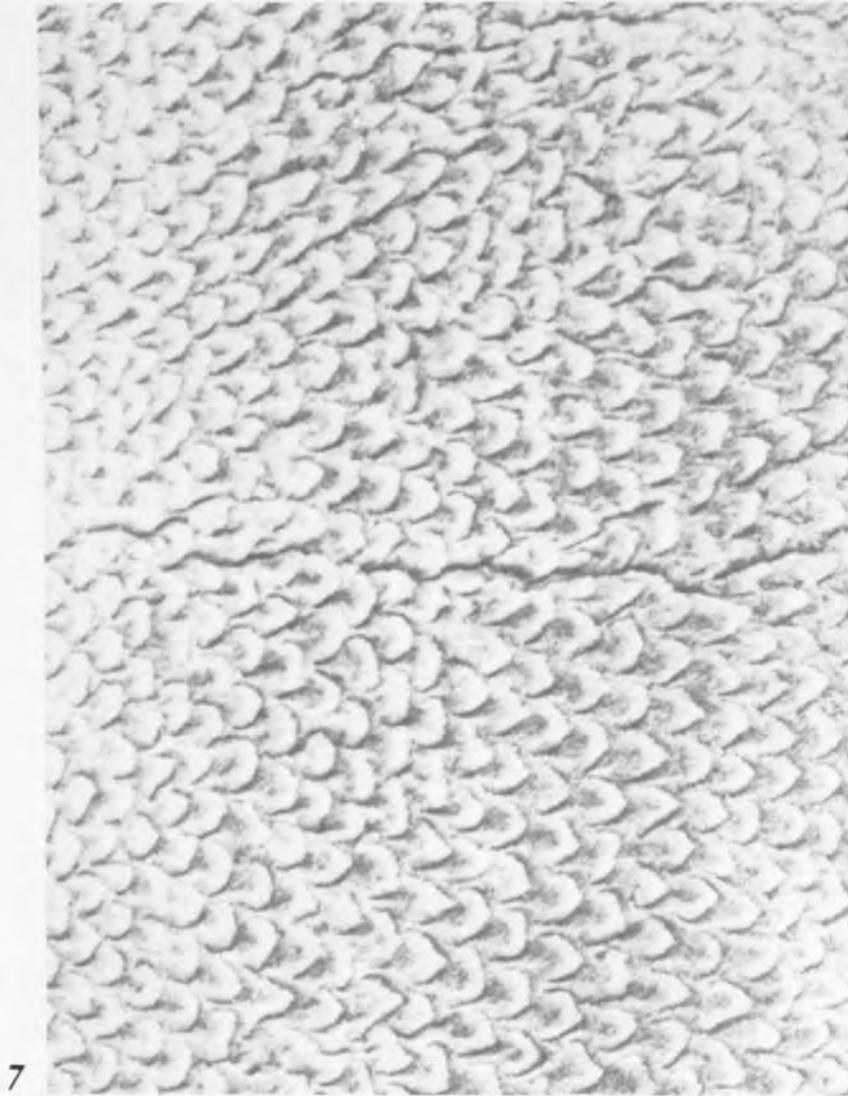


Fig. 7: Face vestibulaire d'une prémolaire. Mordançage H_3PO_4 50% vol. pendant 1 mn. Notez combien l'efficacité du mordançage est accrue sur une surface préalablement abrasée à la pointe diamantée. MEB \times 620 environ.

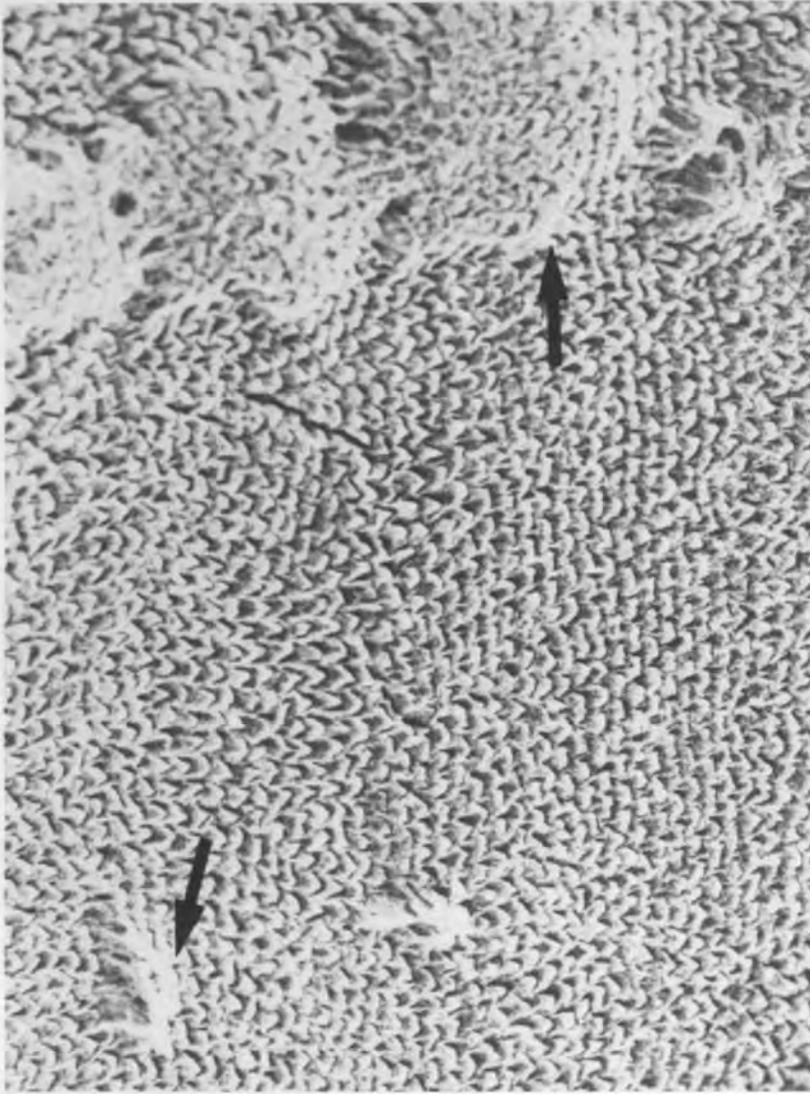
Fig. 7: Vestibular face of a premolar. Etching with 50% H_3PO_4 during 1 mn. Note how the efficiency of etching is enhanced when the surface has been pre-treated with a diamond-wheel. SEM \times about 620.

Fig. 8: Détail de la figure 7. MEB \times 1550 environ.

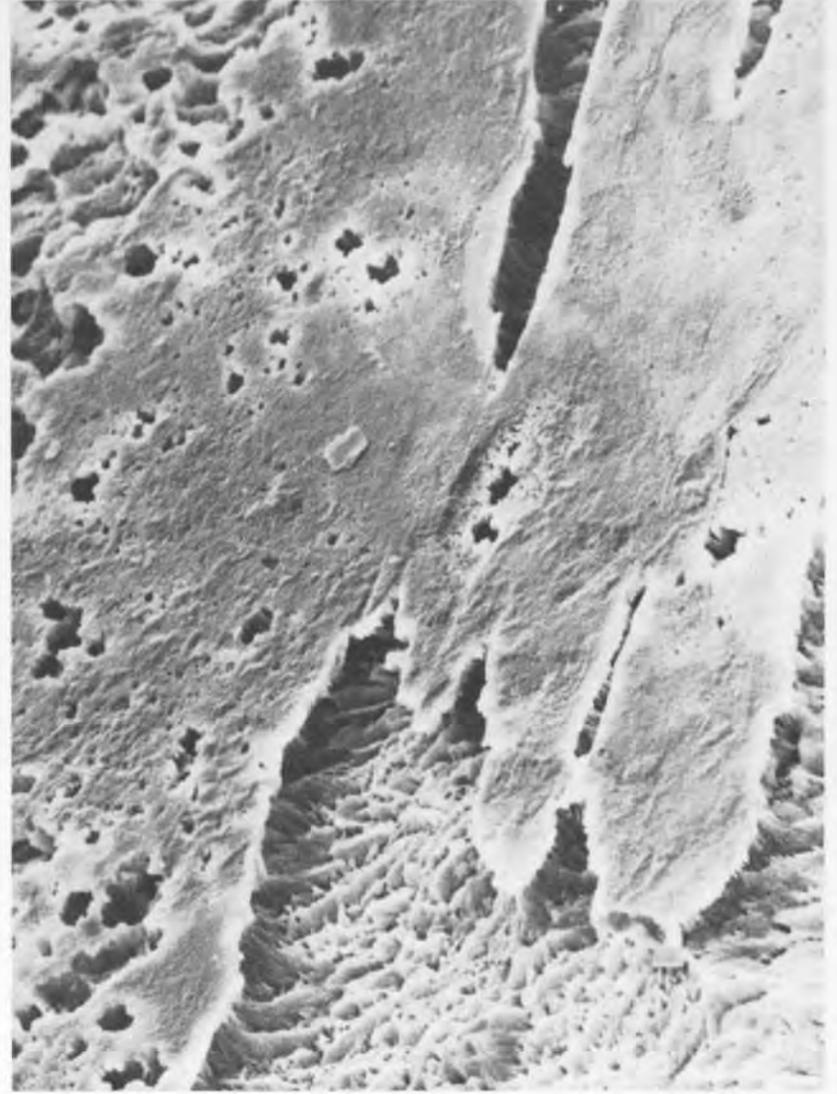
Fig. 8: Detail of Figure 7. SEM \times about 1550.

Fig. 12: Surface d'une molaire permanente traitée par HCl 50% pendant 5 mn, sans traitement mécanique préalable. La couche hyperminéralisée de surface a résisté en de nombreux points, la sub-surface de l'émail est atteinte. MEB \times 170 environ.

Fig. 12: Enamel surface in a permanent molar without any preliminary mechanical treatment. The surface layer has resisted in many areas whereas the sub-surface is demineralized. SEM \times about 170.



13



14

Fig. 13: Mordançage réalisé dans les mêmes conditions que ci-dessus, mais avec abrasion préalable de la surface à la pointe diamantée. La surface est rétentive, mais la couche superficielle a été dissoute progressivement: les petites zones appartenant à la couche sous-jacente préservée (flèches) permettent d'apprécier l'épaisseur des couches successivement décapées en fonction de la durée du mordançage. MEB \times 260 environ.

Fig. 13: Etching performed under the same conditions as above but on previously abraded surface using a diamond wheel. Etching proves is efficient but the acid has gradually dissolved thin enamel layers. The remaining untouched areas of the underlying enamel layers (arrows) allow assessment of the enamel thickness gradually dissolved. SEM \times about 260.

Fig. 14: Microporosités obtenues par suppression de la couche hyperminéralisée de surface par pointe diamantée avant mordançage. MEB \times 650 environ.

Fig. 14: Microporosities obtained on surfaces abraded with a diamond wheel prior to etching. SEM \times about 650.

Fig. 15: En plus des microporosités, la surface abrasée à la pointe diamantée avant le mordançage présente des stries dues à l'instrument. MEB \times 260 environ.

Fig. 15: The surface abraded with a diamond wheel prior to etching shows both microporosities and scratches due to the wheel. SEM \times about 260.



15

En ce qui concerne *la nature de l'agent de mordantage et sa concentration optimale*, nos résultats sont en accord avec les travaux de Boyde et coll. (1978) et de Galil et Wright (1979), indiquant que l'acide lactique ne permet pas d'obtenir un mordantage efficace, quel que soit le mode de préparation mécanique de l'échantillon. De même, nos résultats, montrant que l'acide citrique, utilisé à des concentrations et pendant des temps variables, n'est pas plus efficace, sont en accord également avec ceux de la littérature (Silverstone, 1974; Retief, 1975; Dennison et Craig, 1978; Calil et Wright, 1979). Nous avons constaté, en effet, que cet acide ne créait pas de pertuis à la surface de l'émail et ne modifiait pas, par conséquent, les possibilités de rétention de la surface. En revanche, l'acide citrique permet un excellent nettoyage des surfaces à coller et peut donc être utilisé à cette fin.

Le présent travail a permis de montrer l'efficacité des acides chlorhydrique et phosphorique. L'acide chlorhydrique a été peu utilisé pour le mordantage, ayant été jugé trop corrosif par les premiers utilisateurs (Gwinnett et Buonocore, 1965). Nos résultats indiquent cependant, en accord avec les travaux de Gwinnett (1971), Johnson et coll. (1971), Boyde et coll. (1978), et Lees et coll. (1979), que cet acide permet d'obtenir un excellent mordantage. Ce mordantage s'est montré efficace, pour une concentration molaire, avec des temps d'utilisation très courts (12 secondes), les résultats ont été excellents pour une durée d'application de 1 à 2 minutes. Selon Boyde et coll. (1978), l'utilisation de cet acide induirait l'élimination d'une couche importante (jusqu'à 50 μm) d'émail superficiel. Or, notre étude indique que seule, précisément, la destruction de la couche d'émail aprismatic permet d'obtenir un mordantage efficace de toute la surface traitée.

La rapidité d'action de l'acide chlorhydrique présente, à nos yeux, un avantage non négligeable, car le risque de contamination par la salive, par exemple, est ainsi diminué. Enfin, selon Amjad et coll. (1982), les surfaces traitées non recouvertes par la résine se reminéraliseraient plus rapidement après utilisation d'acide chlorhydrique qu'après utilisation d'acide phosphorique.

L'acide phosphorique apparaît pourtant, lui aussi, comme un bon agent de mordantage. Les études de Retief (1975, 1978) ont montré que la concentration optimale pour cet acide était de 50%. Nos résultats indiquent que cette concentration de 50% est, en

effet, la plus efficace, même sur des surfaces non abrasées ou simplement poncées. Les opinions, sur ce point, divergent: la concentration optimale de l'acide phosphorique serait de 16% selon Adipranoto et coll. (1975), 20% selon Beech (1978) et Soetopo et coll. (1978), 29,4% pour Oshawa (1972) et Williams et von Fraunhofer (1979). Selon Nelson et coll. (1974), l'acide phosphorique serait également efficace à des concentrations de 25 et 50%, de 30% pour Rock (1974) et Silverstone (1974), de 30 et 40% enfin pour Moin et Dogon (1977). Des études comparatives récentes ont finalement montré que l'adhésion des résines composites sur l'émail serait identique pour des concentrations comprises entre 10 et 60% (Gottlieb et coll., 1982; Gross et coll., 1984; Manson-Rahemtulla et coll., 1984; Retief et coll., 1985; Zidan et Hill, 1986).

La durée optimale du mordantage a fait l'objet de vives polémiques. Une durée d'1 minute est le plus couramment préconisée, cette durée devant être augmentée, lorsqu'il s'agit de denture temporaire, soit légèrement (1 minute 30 pour Bozalis et Marshall, 1977) soit considérablement (quadruplée selon Wickwire et Rentz, 1973; Eidelman (1976); Fuks et coll., 1977). On admet également que des temps plus longs sont nécessaires dans le cas de dents fluorées (Capozzi et Marci, 1969; Lee et coll., 1972; Bryant et coll., 1985; Le Geros et coll., 1985).

Les études récentes montrent que des durées de mordantage très courtes pouvaient être suffisantes: 30 secondes pour Mardaga et Shannon (1982), 20 secondes pour Mac Cabe et Storer (1980), Nordenvall et coll. (1983), Eidelman et coll. (1984), Fuks et coll. (1984), 15 secondes pour Brannstrom et coll. (1978, 1982), 10 secondes pour Stephen et coll. (1982), Main et coll. (1983) et Shapiro et Eidelman (1985) et même 5 secondes, selon Beech et Jalaly (1980). Il semble qu'à long terme, la tenue des résines composites soit moindre si l'on utilise des temps courts.

Nos résultats confirment la valeur d'une durée de mordantage moyenne de 1 minute. En effet, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre des temps d'application de 1 à 2 minutes, et, au-delà, nous avons mis en évidence des effets néfastes d'un mordantage prolongé. On ne peut donc, en aucun cas, compenser une insuffisance de préparation mécanique de la dent par un temps de mordantage plus long. Par ailleurs, des temps de mordantage plus courts (quelques secondes) peuvent être utilisés uniquement avec un acide fort comme l'acide chlorhydrique 1 M.

Le présent travail permet de mettre en évidence des points trop souvent négligés dans la pratique du mordançage. Il apparaît, en effet, que la seule action chimique des acides induit peu de rétention à la surface de l'émail; que, d'autre part, les qualités d'adhésion de la résine n'étaient pas fonction, uniquement, de la rétention mécanique. Selon Fosse (1968), la densité des prismes d'émail est de $3,1$ à $4,4 \times 10^6$ prismes par cm^2 . Une estimation de Bozalis et coll. (1979) chiffre à $6,2 \times 10^5$ le nombre des prismes offrant des possibilités de rétention, ce qui veut dire qu'au mieux 20% des prismes d'émail seraient mordancés de façon efficace.

Dès 1974, Rock avait constaté que les forces d'adhésion maximales des résines ne correspondaient pas toujours aux microtenons («tags») les plus longs. D'autres paramètres doivent donc être pris en compte, parmi lesquels les liaisons secondaires, chimiques et électro-statiques (Beech, 1978) ou le pouvoir mouillant de la résine (Denys et Retief, 1982).

REFERENCES

- Adipranoto, S., Beech, D.R., Hardwick, J.L. — Effects of pretreatment of enamel on bonding to enamel. *J. Dent. Res. Special issue*, 54: Abstract L 354, 1975.
- Aker, D.A., Aker, J.R., Sorensen, S.E. — Effects of methods of tooth enamel preparation on the retentive strength of acid-etch composite resins. *JADA*, 99: 185-189, 1979.
- Amjad, Z., Koutsoukos, P.G., Nancollas, G.H. — The mineralization of enamel surfaces. A constant composition kinetic study. *J. Dent. Res.*, 60: 1783-1792, 1982.
- Beech, D. — Adhesion in the oral environment: biophysical and biochemical considerations. *Int. Dent. J.*, 28: 338-348, 1978.
- Beech, D., Jalaly, T. — Bonding of polymers to enamel: influence of deposits formed during etching, etching time and period of water immersion. *J. Dent. Res.*, 59: 1156-1162, 1980.
- Boyde, A., Jones, S.J., Reynolds, P.S. — Quantitative and qualitative studies of enamel etching with acid and EDTA. Scanning electron microscopy II, SEM Inc., AMF, 19 O'Hare, IL. 60666, USA: 991-1002, 1978.
- Bozalis, W.C., Marshall, G.W. — Acid etching patterns of primary enamel. *J. Dent. Res.* 56: 1851, 1977.
- Bozalis, W.G., Marshall, G.W. Cooley, R.O. — Mechanical pretreatment and etching of primary tooth enamel. *J. Dent. Child.*, 46: 43-49, 1979.
- Brannstrom, M., Nordenvall, K.J., Malgren, O. — The effect of various pretreatment methods of the enamel in bonding procedures. *Am. J. Orthod.*, 74: 522-530, 1978.
- Brannstrom, M., Malgren, O., Nordenvall, K.J. — Etching of young permanent teeth with an acid gel. *Am. J. Orthod.*, 82: 379-383, 1982.
- Brudevold, F., Aasenden, R., Bakhos, Y. — A preliminary study of post-eruptive maturation of teeth in situ. *Caries Res.*, 16: 243-248, 1982.
- Bryant, S., Retief, D.H., Bradley, E.L.Jr. — The effect of topical fluoride treatment on enamel fluoride uptake and the tensile bond strength of an orthodontic bonding resin. *Am. J. Orthod.*, 85: 294-302, 1985.
- Buonocore, M.G. — A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J. Dent. Res.*, 34: 849-853, 1955.
- Cabe, Mc, J.E., Storer, R. — Adaptation of resin restorative materials to etched enamel and interfacial work of fracture. *Br. Dent. J.*, 18: 155-158, 1980.
- Capozzi, L., Marci, F. — Osservazioni con il microscopio elettronico «Scanning» sullo smalto dentario trattato con fluoruri. Pub. del Instituto di clinica Odontoiatrica dell'Università degli studi di Perugia. *Annali di Stomat.*, 28: 209-220, 1969.
- Conniff, J.N., Hamby, G.R. — Preparation of primary tooth enamel for acid conditioning. *J. Dent. Child.*, 43: 41-43, 1976.
- Dennison, J.B., Craig, R.G. — Characterization of enamel surfaces prepared with commercial and experimental etchants. *JADA*, 97: 799-805, 1978.
- Denys, F.R., Retief, D.H. — Variations in enamel etching patterns produced by different concentrations phosphoric acid. *J. of the Dent. Ass. of South Africa*, 37: 185-189, 1982.
- Eidelman, E. — The structure of the enamel in primary teeth: practical applications in restorative techniques. *J. Dent. for Child.*, 43: 36-40, 1976.
- Eidelman, E., Shapira, J., Houpt — The retention of fissure sealants using twenty second etching time. *J. Dent. Child.*, 51: 422-424, 1984.
- Fosse, G. — A quantitative analysis of the numerical density and the distributional pattern of prisms and ameloblasts in dental enamel and tooth germs. V. Prism density and pattern on the outer and inner surface of the enamel mantle of canines. *Acta Odont. Scand.*, 26: 501-520, 1968.
- Fuks, A.B., Eidelman, E., Shapira, J. — Mechanical and acid treatment of the primless layer of primary teeth vs acid etching only: a SEM study. *J. Dent. Child.*, 44: 54-57, 1977.
- Fuks, A.B., Grajower, R., Shapira, J. — In vitro assessment of marginal leakage of sealants placed in permanent molars with different etching times. *J. Dent. Child.*, 51: 425-427, 1984.
- Galil, K.A., Wright, G.Z. — Effects of various acids on the buccal surface of human permanent teeth: a study using scanning electron microscopy. *Pediatric Dent.* 1: 155-159, 1979.
- Gottlieb, E.W., Retief, D.H., Jamison, H.C. — An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part 1: tensile bond strength studies. *J. Prosthet. Dent.*, 48: 48-51, 1982.
- Gross, J.D., Retief, D.H., Bradley, E.L. — An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part II: microleakage studies. *J. Prosthet. Dent.*, 52: 786-789, 1984.
- Gwinnett, A.J., Buonocore, M.G. — Adhesives and caries prevention. *Br. Dent. J.*, 20: 77-80, 1965.
- Gwinnett, A.J. — Histologic changes in human enamel following treatment with adhesive conditioning agents. *Archs oral Biol.*, 16: 731-738, 1971.
- Johnson, N.W., Poole, D.F.G., Tyler, J.E. — Factors affecting the differential dissolution of human enamel in acid and EDTA. A scanning electron microscope study. *Archs oral Biol.*, 16: 385-396, 1971.

- Lee, H., Ocumpauch, D.E., Dhaffer, J., Sheble, A.M. — Sealing of developmental pits and fissures: IV. Measurement of in vivo fluoride pickup by electron microprobe X-ray spectrophotometry. *J. Dent. Res.*, 51: 634-639, 1972.
- Lees, S., Trombly, P.L., Skobe, Z., Gariepy, E.E., Trull, A.F. — Modification of etching patterns in bovine dental enamel. *J. Dent. Res.*, 58: 1840-1847, 1979.
- Le Geros, R.Z., Glenn, F.B., Lee, D.D. — Some physico-chemical properties of deciduous enamel of children with and without pre-natal fluoride supplementation (PNF). *J. Dent. Res.*, 64: 1771-1777, 1985.
- Main, C., Thomson, A., Cummings, A., Field, D., Stephen, K.W., Gillepsie, D. — Surface treatment studies aimed at streamlining fissure sealant application. *J. of Oral Rehabilitation*, 10: 307-317, 1983.
- Manson-Rahemtulla, B., Retief, D.H., Jamison, H.C. — Effect of concentrations of phosphoric acid on enamel dissolution. *J. Prosth. Dent.*, 51: 495-498, 1984.
- Mardaga, W.J., Shannon, I.L. — Decreasing the depth of etch for direct bonding in orthodontics. *J. Clin. Orthod.*, 15: 130-132, 1982.
- Meola, M.T., Papaccio, G. — A scanning electron microscope study of the effect of etching time and mechanical pre-treatment on the pattern of acid etching on the enamel of primary teeth. *Int. Dent. J.*, 36: 49-53, 1986.
- Moin, K., Dogon, I.L. — Indirect bonding of orthodontic attachments. *Am. J. Orthod.*, 72: 261-275, 1977.
- Nelson, S.R., Till, M.J., Hinding, J.H. — Comparison of materials and methods used in acid etch restorative procedures. *JADA*, 89: 1123-1127, 1974.
- Nordenvall, K.J., Brannstrom, M., Malmgren, O. — Etching of deciduous teeth and young and old permanent teeth. *Am. J. Orthod.*, 78: 99-108, 1980.
- Ohsawa, T. — Studies on solubility and adhesion of the enamel in pretreatment for caries preventive sealing. *Bull. Tokyo Dent. Coll.*, 13: 65-82, 1972.
- Retief, D.H. — The use of 50 per cent phosphoric acid as an etching agent in orthodontics: a rational approach. *Am. J. Orthod.*, 68: 165-177, 1975.
- Retief, D.H. — The mechanical bond. *Int. Dent. J.*, 28: 18-25, 1978.
- Retief, D.H., Middleton, B.S., Jamison, H.C. — Optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part III: Enamel wettability studies. *J. Prosth. Dent.*, 53: 42-45, 1985.
- Rock, W.P. — The effects of etching of human enamel upon bond strengths with fissure sealant resins. *Archs oral Biol.*, 19: 873-877, 1974.
- Schneider, P.M., Messer, L.B., Douglas, W.H. — The effect of enamel surface reduction in vitro on the bonding of composite resin to permanent human enamel. *J. Dent. Res.*, 60: 895-900, 1981.
- Shapira, J., Eidelman, E. — Fissure topography after combined 20 and 60 seconds etching and mechanical preparation viewed by SEM. *Clin. Prevent. Dent.*, 7: 27-30, 1985.
- Sheykholeslam, Z., Buonocore, M.G. — Bonding of resins to phosphoric acid-etched enamel surfaces of permanent and deciduous teeth. *J. Dent. Res.*, 51: 1572-1576, 1972.
- Silverstone, L.M. — Fissure sealants. *Caries Res.*, 8: 2-26, 1974.
- Silverstone, L.M., Saxton, C.A., Dogon, I.L., Fejerskov, O. — Variation in the pattern of acid etching of dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res.*, 9: 373-387, 1975.
- Soetopo Beech, D.R., Hardwick, J.L. — Mechanism of adhesion of polymers to acid-etched enamel. *J. Oral Rehabil.*, 5: 68-809, 1978.
- Stephen, K.W., Kirwood, M., Gillepsie, F.C., Campbell, D. — Retention of a filled fissure sealant using reduced etch time. *Br. Dent. J.*, 21: 232-233, 1982.
- Wickwire, N.A., Rentz, D. — Enamel pretreatment: a critical variable in direct bonding systems. *Am. J. Orthod.*, 64: 499-512, 1973.
- Williams, B., Von Fraunhofer, J.A. — Possible factors in the adhesion of fissure sealants to enamel. *J. Oral Rehabil.*, 6: 345-352, 1979.
- Zidan, O., Hill, G. — Phosphoric acid concentration: enamel surface loss and bonding strength. *J. Prosthet. Dent.*, 55: 388-392, 1986.