



HAL
open science

Développement d'inserts ultrasonores diamantés pour les préparations prothétiques : pénétration sulculaire et finition

Marc-Éric Sous

► **To cite this version:**

Marc-Éric Sous. Développement d'inserts ultrasonores diamantés pour les préparations prothétiques : pénétration sulculaire et finition. Matériaux. Université de Bordeaux 2, 2003. Français. NNT : 2003BOR281019 . tel-01466135

HAL Id: tel-01466135

<https://theses.hal.science/tel-01466135>

Submitted on 20 Feb 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Université Victor Segalen Bordeaux 2

Année 2003

Thèse n°1019

THESE

pour le

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE BORDEAUX 2

Mention : Sciences Biologiques et Médicales

Options : Sciences Odontologiques

Présentée et soutenue publiquement le 28 Mai 2003

Par Monsieur SOUS Marc-Eric
Docteur en Chirurgie Dentaire
Né le 13 Février 1965 à Dax (Landes)

Développement d'inserts ultrasonores diamantés pour les préparations prothétiques : pénétration sulculaire et finition.

Membres du Jury

Mr Georges DORIGNAC	Professeur	Président
Mr Serge ARMAND	Maître de Conférences	Rapporteur
Mr Franck GIROT	Professeur	Rapporteur
Mr Jean VERGE	Professeur	Examineur
Mr Yann LE PETITCORPS	Professeur	Directeur de thèse

AUX MEMBRES DU JURY

Monsieur le Professeur Georges DORIGNAC

Professeur des Universités

Docteur d'Etat

Docteur en Sciences Odontologiques

Praticien Hospitalier

Directeur de L'UFR d'Odontologie de Bordeaux II

Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté de présider ce jury et de nous avoir donné la possibilité de soutenir cette thèse. Vous auriez pu, pour de nombreuses raisons, refuser cette responsabilité. Soyez en remercié.

Monsieur Yann LE PETITCORPS

Professeur à l'Université de Bordeaux I

Laboratoire ICMCB UPR 9048, Pessac

Nous ne pourrons jamais assez vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour nous. Vous nous avez encouragé, soutenu moralement et aidé durant tout ce travail, que nous avons mené en étroite collaboration. Que cette thèse soit la mémoire de toute notre reconnaissance, de notre respect et de notre amitié. Merci de votre honnêteté intellectuelle et de votre humanité, deux qualités rares de nos jours.

Monsieur le Docteur Serge ARMAND

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des centres de soins, d'enseignements et de recherche dentaire

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur d'état en Odontologie

Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail. Vous faites partie des enseignants cliniciens qui nous donnent envie d'exercer cette profession, tant par leurs qualités professionnelles, que par leur rigueur intellectuelle. Le sujet traité dans cette thèse, fait partie de vos préoccupations de clinicien, vous qui avez travaillé sur l'intégration biologique des prothèses fixées. Que ce travail soit le témoignage de notre profond respect.

Monsieur le Professeur Franck GIROT

Professeur à L'ENSAM, Centre de Bordeaux

LAMEFIP, Talence

C'est un grand honneur pour nous d'accueillir un scientifique de votre compétence dans notre jury. C'est avec beaucoup d'humilité que vous nous avez conseillés, nous qui sommes plus des cliniciens que chercheurs. Soyez en remercié.

Monsieur Le Professeur Jean VERGE

Professeur de 1^{er} grade

Odontologiste des services de Consultations et de traitements dentaires

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur d'état en Odontologie

Licencié et Docteur en Médecine dentaire de Genève

Ex assistant de l'institut dentaire de Genève

C'est avec une grande spontanéité et une grande gentillesse que vous avez accepté de siéger à notre jury de thèse. Votre enthousiasme sur le sujet et votre simplicité nous ont beaucoup touchés. Soyez assuré de notre respect et de notre amitié.

A Florence, Paul et Lucille,

merci de votre patience et de tous les sacrifices que vous avez du faire pour que je mène à bien ce travail. Cette thèse est aussi la vôtre.

A mes parents,

merci de m'avoir inculqué les vraies valeurs de la vie et donné cette âme de battant qui m'a permis de surmonter certaines périodes de découragement.

A Jean-François Lasserre,

je ne pourrai jamais assez te remercier pour tout ce que tu as fait pour moi. Tu fais parti de mon cercle restreint d'amis et tu sais l'importance que signifie ce mot pour moi. Sans tes encouragements répétés et ton aide, ce travail n'aurait sans doute jamais abouti. Je sais qu'aujourd'hui tu es très heureux pour moi. Merci de ta confiance.

A François Dieras (Société SATELEC),

merci d'avoir accepté de travailler avec moi sur ce sujet et de m'avoir donné les moyens de mener à bien cette expérimentation.

A Daniel Brocard,

seul un homme de ta générosité pouvait accepter de travailler un jour férié, pour aider un thésard dépassé. Merci de ta patience et de ta compréhension.

A tous mes amis,

Christophe et Carole, Jean-Paul et Véro, Nathalie et Vincent, Laurent et Isa, le Yéyé et tous les autres qui n'ont pas besoin que je les nomme pour savoir que je les aime.....Je vous promets que je travaillerai plus le week-end !!!

A Isabel et Cécile,

je sais que cette période a été délicate pour tout le cabinet. Merci de votre compréhension et de votre aide.

A Marie-Christine,

merci pour les heures que vous m'avez accordées, en plus de vos journées de travail. Entre Verseau et moi, faut bien un peu de solidarité !!

A Valérie,

Tu maîtrises très bien maintenant les préparations pour couronnes céramo-métalliques, même si tu n'espères ne plus jamais en faire. Je regrette de ne pas avoir su te faire changer d'avis au cours de ces quelques mois passés à mes côtés. Merci encore de ton aide.

A Sylvie,

Tu pourrais me remercier de t'avoir trouvé une saine lecture pour meubler tes nuits. Merci de tes conseils.

A Louis Albingre,

merci de ta disponibilité et de ta bonne humeur !!!

A Elisabeth Sellier (CREMEM), Philippe Klepacz (IUT Génie mécanique), la société VEECO, Sandrine Payan (ICMCB),

merci de votre collaboration.

A Béatrice,

merci de m'accompagner tous les jours et de me donner la force d'avancer. Cette thèse t'est dédiée

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	5
<i><u>Les préparations coronaires périphériques pour couronnes céramo-métalliques et céramo-céramiques sur dents antérieures et postérieures</u></i>	
I.1. DIFFERENTS CRITERES QUI REGISSENT LES PREPARATIONS	8
I.1.1. Critères biologiques	8
I.1.1.1. Respect du complexe dentino-pulpaire	
I.1.1.2. Respect du parodonte	
I.1.1.3. Respect de l'occlusion	
I.1.2. Critères mécaniques	10
I.1.3. Critères esthétiques	11
I.2. METHODOLOGIE DE PREPARATION	11
I.2.1. Préliminaires	11
I.2.1.1. Contexte parodontal	
a) Le parodonte est-il sain ?	
b) La gencive attachée est-elle en quantité et qualité suffisantes ?	
c) Où doit-on situer la limite prothétique ?	
d) Le degré d'alvéolyse	
I.2.1.2. Le contexte occlusal	12
I.2.1.3. Examen radiographique	13
I.2.1.4. Choix du type de limite cervicale	13
a) Les couronnes céramo-métalliques	13
➤ Les limites biseautées	
➤ Le joint céramique dent	
□ Techniques de réalisation	
□ Précision du joint	
b) Les couronnes sur matrice et couronnes céramo-céramiques	16
➤ Les couronnes sur matrice	16
➤ Les couronnes céramo-céramiques	17
□ Les céramiques infiltrées: Le procédé In céram	
□ Les céramiques pressées	
• Le procédé Cerestore	
• Le procédé Optec	
□ Les céramiques usinées : Le système Procera	
□ Précision du joint	
I.2.1.5. Epaisseur des préparations	19

I.2.2. Protocole opératoire des préparations	19
I.2.2.1. Dents antérieures	20
a) Etape 1	
b) Etape 2	
c) Etape 3	
d) Etape 4	
e) Etape 5	
f) Protocole modifié en fonction des auteurs	
➤ Magne et Bulser	
➤ Girot	
I.2.2.2. Dents postérieures	25
I.2.2.3. Déplacement de la ligne de finition en position sous-gingivale	26
I.2.3. Conclusions	28
CHAPITRE II	31
<u>Les ultrasons et leurs applications en Odontologie</u>	
II.1. DEFINITIONS	33
II.2. LA PIEZO ELECTRICITE	33
II.3. LA MAGNETOSTRICTION	33
II.4. L'ELECTROSTRICTION	33
II.5. PROPRIETES ET APPLICATIONS DES ULTRASONS	33
II.5.1. Pour les liquides	
II.5.2. Pour les solides	
II.6. APPLICATION EN ODONTOLOGIE.	34
II.6.1. En Parodontologie	
II.6.2. En Endodontie	
II.6.3. En Odontologie conservatrice	
II.6.4. En Prothèse	
CHAPITRE III	41
<u>Matériel et Procédure expérimentale</u>	
III.1. MATERIEL	43
III.1.1. La dent	43
III.1.2. Les fraises diamantées	44
III.1.2.1. Aspect en Microscopie Electronique à Balayage (MEB)	
III.1.2.2. Le diamantage	

III.1.3. Les Ultrasons	48
III.1.3.1. Le générateur	
III.1.3.2. Le transducteur	
III.1.4. Les inserts diamantés	49
III.1.4.1. Description des différents inserts	
III.1.4.2. Référence des différents inserts	
III.1.4.3. Caractérisations physico-chimiques des fraises et des inserts	
a) Masse moyenne	
b) Epaisseur des différents constituants	
c) Pourcentage relatif de liant nickel et de diamants	
III.1.5. Le dispositif mécanique d'usinage	54
III.1.5.1. Le dispositif statique	
III.1.5.2. Le dispositif dynamique	
III.1.6. Identification des modes d'usinage	57
III.1.6.1. La fraise diamantée	57
III.1.6.2. Les inserts	58
a) Usinage dans du plâtre	58
➤ Sur la machine	
□ Le plâtre blanc	
□ Le plâtre gris	
□ Le plâtre rose	
➤ Manuellement	
b) Usinage sur du titane	60
III.2. PROCEDURE EXPERIMENTALE	60
III.2.1. Préparation des dents naturelles	60
III.2.2. Usinage de la limite par les ultrasons	62
III.2.3. Notions de surface et d'état de surface	63
III.2.3.1. Observation des dents en Microscopie Electronique à Balayage (MEB)	64
III.2.3.2. Reconstruction en trois dimensions (3D)	65
III.2.3.3. Profilométrie mécanique et profilométrie sans contact	66
a) Définition des termes de quantification de surface	66
b) Mesures de profilométrie	68
➤ Mécaniques	68
➤ Sans contact	70
□ Dispositif et principes de la mesure	
□ Paramètres mesurés	
□ Appareillage utilisé	
□ Illustration des reconstructions 3 D et mesures réalisées	
CHAPITRE IV	73
<u>Les inserts ultrasonores de 1^{ère} et de 2^{ème} génération</u>	
IV.1. ETAPE DE FAISABILITE : LES INSERTS ULTRASONORES DE 1^{ère} GENERATION	76

IV.1.1. Usinage de la dentine avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération, par deux opérateurs	76
IV.1.1.1. But	76
IV.1.1.2. Résultats	77
a) Aménagement de la limite	
b) Aspect de l'aménagement en MEB	
IV.1.1.3. Conclusions	78
IV.2. PHASE D'OPTIMISATION : LES INSERTS DE 2^{ème} GENERATION	78
IV.2.1. Etude du mode de vibration	79
IV.2.1.1. Sur du plâtre	79
a) Manuellement	79
b) Sur la machine	80
➤ Le plâtre blanc (25kg/cm ²)	
➤ Le plâtre gris (130kg/cm ²)	
➤ Le plâtre rose (475kg/cm ²)	
c) Conclusions	
IV.2.1.2. Usinage sur du titane	83
IV.2.2. Comparaison de l'usinage de la dentine par les différents inserts	84
IV.2.2.1. Evaluation de l'efficacité d'usinage des inserts de 2 ^{ème} génération courts et longs	84
a) But	84
b) Résultats	85
➤ Aménagement de la limite	
➤ Aspect en Macrophotographie	
c) Commentaires	87
IV.2.2.2. Evaluation de l'efficacité d'usinage des inserts de 2 ^{ème} génération courts	87
a) But	87
b) Résultats	88
➤ Aménagement de la limite	88
➤ Aspect en macrophotographie	88
c) Commentaires	
IV.2.2.3. Comparaison de l'efficacité d'usinage des inserts de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} générations gros grains	89
a) But	89
b) Résultats	90
➤ Aménagement de la limite	90
➤ Aspect en Macrophotographie	90
c) Commentaires	
IV.2.2.4. Comparaison de l'usinage des inserts de 1 ^{ère} et de 2 ^{ème} générations gros grains et grains fins	91
a) But	91
b) Résultats	91
➤ Aménagement de la limite	
➤ Aspect en Macrophotographie	
c) Commentaires	93

IV.2.2.5. Comparaison de l'usinage des inserts de 1 ^{ère} et de 2 ^{ème} générations	94
a) But	94
b) Résultats	95
➤ Aménagement de la limite	
➤ Aspect en Macrophotographie	
c) Commentaires	96
IV.2.2.6. Comparaison de l'usinage des inserts de 1 ^{ère} et de 2 ^{ème} générations gros grains et grains fins en utilisant la machine	97
a) But	97
b) Résultats	97
➤ Aménagement de la limite	
➤ Aspect en Macrophotographie	
c) Commentaires	99
IV.2.2.7. Comparaison de l'usinage des inserts de 1 ^{ère} et de 2 ^{ème} génération grains fins sur machine et utilisés manuellement dans des conditions cliniques par trois opérateurs différents	100
a) But	100
b) Résultats	100
➤ Aménagement de la limite	
➤ Aspect en Macrophotographie	
c) Commentaires	102

CHAPITRE V 104

Etat de surface de la ligne de finition après usinage par les ultrasons

INTRODUCTION 106

V.1. OBSERVATION DES ETATS DE SURFACE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE 109

V.2. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE MECANIQUE 112

V.3. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE OPTIQUE.(reconstruction 3D des surfaces) 118

V.3.1. Etats de surface obtenus à la fraise 118

V.3.1.1. Fraise bague verte

V.3.1.2. Fraises bague rouge +verte

V.3.2. Etats de surface obtenus avec les inserts diamantés 120

- a) Insert de 1^{ère} génération gros grains (force appliquée 160 gr)
- b) Insert de 1^{ère} génération gros grains + grains fins (force appliquée 160 gr)
- c) Insert de 1^{ère} génération grains fins (force appliquée 160 gr)
- d) Insert de 2^{ème} génération gros grains (force appliquée 160 gr)
- e) Insert de 2^{ème} génération gros grains + grains fins (force appliquée 160 gr)
- f) Insert de 2^{ème} génération grains fins (force appliquée 160 gr)
- g) Influence de la pression exercée par le dispositif: inserts de 2^{ème} génération grains fins (force appliquée 340 gr)
- h) Insert de 2^{ème} génération, grains fins, préparation manuelle de la dent

V.3.3. Interprétation des résultats	128
a) Zones et direction des mesures	
b) Tableau récapitulatif des différents paramètres de rugosité	
V.3.4. Commentaires	130
CHAPITRE VI	132
<u>Proposition d'un nouveau protocole thérapeutique</u>	133
CONCLUSION GENERALE	140
ANNEXES	144
BIBLIOGRAPHIE	161

INTRODUCTION

En prothèse fixée, la préparation des dents supports dans le secteur antérieur doit répondre à trois objectifs majeurs^{4, 8, 19, 33}:

- respecter les structures parodontales,
- établir un résultat esthétique satisfaisant, en ménageant une place suffisante au matériau cosmétique,
- être stable dans le temps.

Le joint dento-prothétique, joue à cet égard un rôle très important, puisque sa position plus ou moins intrasulculaire et son ajustage, influencent directement la santé parodontale et l'illusion esthétique.

La préparation d'une dent destinée à recevoir une couronne céramo-métallique ou céramo-céramique, se fait en deux temps bien distincts^{4, 8, 19, 86, 921}. Un premier temps, au cours duquel la ligne de finition est située en position supra gingivale, puis un deuxième, au cours duquel la limite est amenée progressivement en position intrasulculaire. Cette deuxième étape est particulièrement importante, puisque c'est elle qui conditionnera la réussite ou l'échec de notre travail. En effet, nous devons situer la ligne de finition en position intrasulculaire pour des raisons esthétiques, tout en respectant l'attache épithéliale et l'espace biologique. La limite devra être suffisamment large pour laisser la place au matériau cosmétique, régulière et polie pour permettre un enregistrement optimum et une réplique précise. C'est elle qui sera l'objet de notre étude.

Cette préparation est effectuée à l'aide de fraises diamantées de différentes granulométries, montées sur une turbine (250 000 à 300 000 t/mn) ou un micromoteur (120 000 t/mn). Certains auteurs^{28, 58, 68} préconisent la mise en place d'un cordonnet rétracteur, de manière à écarter la gencive marginale de la zone à préparer et éviter ainsi de la léser lors du passage de la fraise diamantée. Cela permet également de mieux visualiser la limite pour l'amener en position intra sulculaire. Cette étape est responsable de la création d'un « bec » au niveau de la limite, que l'on élimine, soit en donnant à la fraise un petit mouvement latéral, soit en utilisant une fraise jacket modifiée (Goldstein⁵⁷). Il est fréquent de léser la face interne du sillon lors de cette manœuvre. Cette étape est fondamentale dans l'intégration biologique future de notre prothèse.

La turbine présente deux inconvénients majeurs :

- la vitesse d'usinage très importante qui ne permet pas d'avoir un contrôle parfait de notre geste, avec une localisation approximative de la limite et des risques de lésions du système d'attache,
- la rotation très rapide des fraises diamantées, avec le risque de toucher et de léser la partie interne du sillon et d'être à l'origine de saignements.

Le but de ce travail de recherche est de remplacer la fraise diamantée montée sur turbine ou micromoteur, par des inserts diamantés montés sur une pièce à main animée par un générateur à ultrasons, lors de la deuxième phase de la préparation, au cours de laquelle la ligne de finition est positionnée en situation intrasulculaire

L'idée d'utiliser des inserts diamantés pour réaliser cette dernière étape, a germé lors d'un test réalisé en collaboration avec la société Satelec (Mérignac, 33), qui concernait des inserts dont la partie travaillante avait la forme d'un ciseau à émail.



Ces embouts étaient destinés à biseauter le bord des lignes de finition. Devant la progression des limites non biseautées, notamment pour la réalisation des joints tout céramique, il nous a semblé qu'il serait plus judicieux de développer des inserts susceptibles de positionner la ligne de finition en position intrasulculaire et de la polir.

Le choix d'inserts diamantés et de leurs formes tient à plusieurs constats :

- de l'utilisation d'inserts de ce type en dentisterie restauratrice,
- de l'envie de donner une forme de fraise à ces outils,
- du sens tactile très important donné par les inserts utilisés en parodontologie, assorti du respect de l'intégrité de la gencive marginale.

L'espoir en développant ce produit est donc triple :

- obtenir un sens tactile très important, qui permettrait de bien « sentir » la limite de préparation et de la localiser avec précision en position intrasulculaire,
- supprimer facilement le « bec » de l'angle de la préparation,
- développer une technique que l'on espère atraumatique, qui n'entraînerait aucune lésion ni saignement de la gencive marginale.

Les interrogations sont aussi nombreuses :

- efficacité d'un tel procédé d'un point de vue usinage et vitesse d'usinage,
- état de surface et profil de la limite,
- aspect économique : durée de vie des inserts.

Cette étude se divise en six chapitres :

- Le premier chapitre est bibliographique et permet de faire le point sur les techniques actuelles de préparation des dents destinées à recevoir des couronnes céramo-métalliques et céramo-céramiques. Les différentes étapes sont développées, ainsi que les difficultés inhérentes à chacune d'elles. L'utilisation d'inserts ultrasonores diamantés est proposée pour amener la ligne de finition en position intrasulculaire.
- Le deuxième chapitre est consacré aux ultrasons et à leurs domaines actuels d'utilisation en Odontologie. Le domaine prothétique est abordé tout en précisant que la littérature concernant l'utilisation d'inserts ultrasonores diamantés pour finir les préparations est pauvre.
- Le troisième chapitre permet de décrire le matériel, en particulier les deux types d'inserts ultrasonores de 1^{ère} et de 2^{ème} générations développés, ainsi que les procédures expérimentales qui vont nous guider durant toute notre recherche.
- Le quatrième chapitre permet d'évaluer l'efficacité d'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations sur différents supports (plâtre, titane, dentine) et de les comparer. C'est bien sûr l'usinage de la dentine qui est privilégié. Deux types d'étude sont menées : l'une assurée par un ou plusieurs opérateurs se fait manuellement dans des conditions cliniques, l'autre, assurée par une machine, se fait dans des conditions expérimentales, reproductibles et comparables, en particulier avec une pression et un déplacement constants.
- Le cinquième chapitre permet d'étudier l'état de surface généré par le passage des ultrasons de 1^{ère} et de 2^{ème} générations gros grains et grains fins, et de le comparer à celui généré par le passage d'instruments rotatifs diamantés de granulométrie 100 μ m (bague verte) et 30 μ m (bague rouge). Cette étude se fait en Microscopie Electronique à Balayage (aspect qualitatif), puis par l'intermédiaire d'un profilomètre mécanique (aspect quantitatif). Elle est complétée par une étude à l'aide d'un profilomètre sans contact. Ces études permettent de quantifier la rugosité et de déterminer si les états de surface obtenus après passage des inserts ultrasonores sont compatibles avec une utilisation sur le plan clinique.
- Le sixième chapitre nous permet de proposer et de mettre en oeuvre un nouveau protocole de préparation dans lequel les inserts ultrasonores diamantés sont intégrés.

CHAPITRE I

**LES PREPARATIONS CORONAIRES PERIPHERIQUES
POUR COURONNES CERAMO-METALLIQUES ET
CERAMO-CERAMIQUES SUR DENTS ANTERIEURES ET
POSTERIEURES**

I.1. DIFFERENTS CRITERES QUI REGISSENT LES PREPARATIONS

I.1.1. Critères biologiques

- I.1.1.1. Respect du complexe dentino-pulpaire
- I.1.1.2. Respect du parodonte
- I.1.1.3. Respect de l'occlusion

I.1.2. Critères mécaniques

I.1.3. Critères esthétiques

I.2. METHODOLOGIE DE PREPARATION

I.2.1. Préliminaires

I.2.1.1. Contexte parodontal

- a) Le parodonte est-il sain ?
- b) La gencive attachée est-elle en quantité et qualité suffisante ?
- c) Où doit-on situer la limite prothétique ?
- d) Le degré d'alvéolyse

I.2.1.2. Le contexte occlusal

I.2.1.3. Examen radiographique

I.2.1.4. Choix du type de limite cervicale

- a) Les couronnes céramo-métalliques
 - Les limites biseautées
 - Le joint céramique dent
 - Techniques de réalisation
 - Précision du joint
- b) Les couronnes céramo-céramiques et couronnes sur matrice
 - Les couronnes sur matrice
 - Les couronnes céramo-céramiques
 - Les céramiques infiltrées : Le procédé In céram
 - Les céramiques pressées
 - Le procédé Cerestore
 - Le procédé Optec
 - Les céramiques usinées : Le système Procera
 - Précision du joint

I.2.1.5. Epaisseur des préparations

I.2.2. Protocole opératoire des préparations

I.2.2.1. Dents antérieures

- a) Etape 1 : préparation de la face vestibulaire : rainures cervicales
- b) Etape 2 : préparation de la face vestibulaire : rainures verticales
- c) Etape 3 : préparation de la face vestibulaire : réunion des rainures
- d) Etape 4 : préparation des faces proximales
- e) Etape 5 : préparation de la face palatine
- f) Etape 6 : positionnement de la ligne de finition en position intra-sulculaire
- g) Etape 7 : polissage de la préparation

- h) Protocole modifié en fonction des auteurs
 - Magne et Bulser
 - Girot

I.2.2.2. Dents postérieures

I.2.2.3. Déplacement de la ligne de finition en position sous-gingivale

I.2.3. Conclusions

Les préparations coronaires périphériques sont destinées à un recouvrement total de la partie dentaire préparée, par un élément prothétique. Elles doivent ménager l'emplacement de l'élément prothétique, conçu dans le but de restituer la morphologie initiale ou idéale de la dent, et de permettre son intégration dans l'ensemble que constitue l'arcade dentaire, en établissant des rapports harmonieux avec l'arcade antagoniste⁹⁹.

I.1. DIFFERENTS CRITERES QUI REGISSENT LES PREPARATIONS

Les couronnes céramo-métalliques et céramo-céramiques permettent d'obtenir de très bons résultats esthétiques à condition que la préparation de la dent destinée à recevoir ces reconstructions répondent à des critères précis, qu'ils soient mécaniques ou biologiques. Des erreurs à ce stade de la préparation pourront être à l'origine de couronne en surcontour, d'inflammation gingivale, de fractures d'origine fonctionnelle, d'un résultat esthétique médiocre ou d'une rétention insuffisante.¹⁷

I.1.1. CRITERES BIOLOGIQUES

I.1.1.1. Respect du complexe dentino-pulpaire⁵³

Lors de la préparation des dents vivantes, il est impératif d'avoir une attitude protectrice vis-à-vis de l'organe pulpaire, en minimisant l'élévation de température et en tenant compte de la notion d'économie tissulaire.

L'élévation de température due à l'instrumentation rotative est contrôlée par le spray et par l'utilisation d'instruments diamantés de bonne qualité évitant toutes pressions intempestives. La notion d'économie tissulaire vise à ne pas mutiler inutilement la dent, tout en respectant les critères esthétiques, mécaniques et biologiques. Il faudra réaliser des préparations dites homothétiques c'est-à-dire réduire la dent en respectant la morphologie initiale de la dent intacte. Ceci permettra d'assurer au matériau prothétique une épaisseur régulière.

I.1.1.2. Respect du parodonte^{4, 8, 12, 28, 30, 32, 48, 52, 105}

Lors de la préparation, il est indispensable de ne pas léser l'espace biologique, situé entre la crête osseuse et le fond du sulcus et qui permet l'attache épithélio-conjonctive du parodonte superficiel à la surface radiculaire (Fig. I.1).

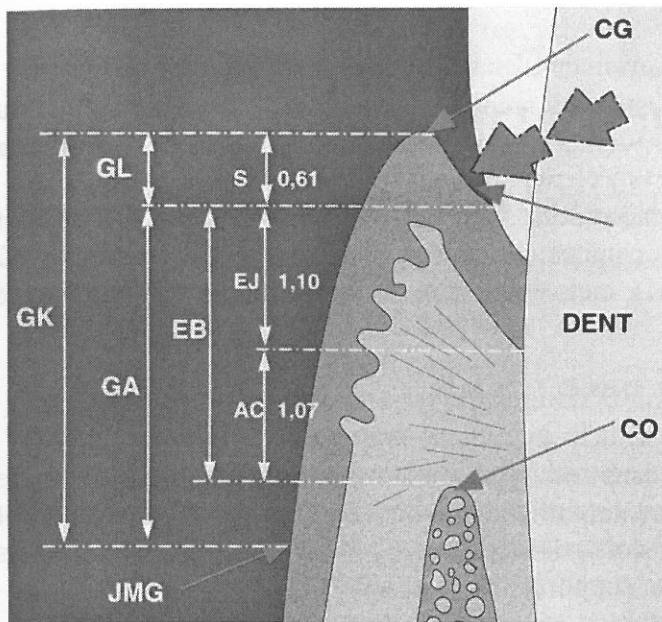


Figure I.1 Le site parodontal
(d'après Blanchard et collaborateur ¹⁰⁾)

CG : crête gingivale
AC : attaché conjonctive
S : sulcus
CO : crête osseuse
EB : espace biologique
GL : gencive libre
GA : gencive attachée
GK : gencive kératinisée
JMG : ligne de jonction muco-gingivale

Cet espace décrit par Gargiulo ³², présente deux entités :

- l'attache épithéliale : 1 mm
- l'attache conjonctive : 1 mm

Cet espace biologique constitue un véritable rempart de protection du parodonte profond.

Au dessus de cette zone se trouve le sillon gingivo-dentaire ou sulcus dont la profondeur varie de 0,5 à 1 mm. C'est dans cette zone que vient se situer la limite prothétique. L'enfouissement de cette limite ne doit jamais excéder 1 mm ⁴.

Avant toute préparation il est nécessaire :

- de mesurer la profondeur du sulcus à l'aide d'une sonde parodontale afin de ne pas léser l'attache épithéliale,
- de vérifier radiologiquement la distance entre la crête osseuse et la limite prothétique afin de préserver les 3 mm nécessaires à la bonne santé du système d'attache.

Tout « viol » de cet espace lors des différentes manœuvres prothétiques, se traduit par une inflammation gingivale qui peut aboutir en fonction du parodonte, soit à une poche parodontale, soit à une récession gingivale responsable de la visibilité du joint dento-prothétique et donc à un échec esthétique. ^{12, 52}

Si cet espace est insuffisant, il doit être recréé artificiellement, soit par chirurgie parodontale (élongation coronaire), soit par traction orthodontique ^{4, 12}.

I.1.1.3. Respect de l'occlusion⁵⁴

Lors de la préparation d'une dent destinée à recevoir une coiffe céramo-métallique ou céramo-céramique, nous devons toujours avoir à l'esprit le schéma occlusal dans lequel la coiffe va s'inscrire.

Il est donc indispensable de préparer les faces occlusales des prémolaires et des molaires et les faces palatines des incisives et des canines en tenant compte de l'état statique où Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM), mais également de la cinématique mandibulaire en propulsion et latéralités.

I.1.2. CRITERES MECANIQUES^{37, 43, 58, 68, 74, 75, 86, 92}

La rigidité des matériaux utilisés dans ce type de reconstructions, implique une préparation de dépouille dont les pans présentent une légère convergence par rapport au trajet d'insertion³³. Toutefois cette dépouille ne doit pas dépasser 6° à 10° au risque de ne plus permettre la rétention de la prothèse sur son support (Fig.I.2 et I.3)⁴³.

Ainsi les préparations doivent être un savant dosage entre l'insertion et la rétention.

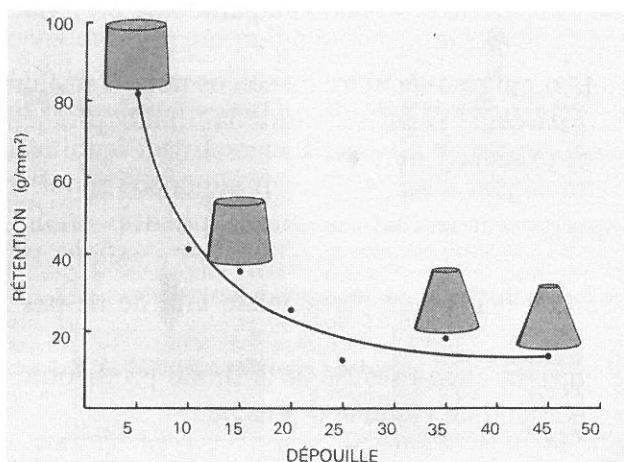


Fig. I.2

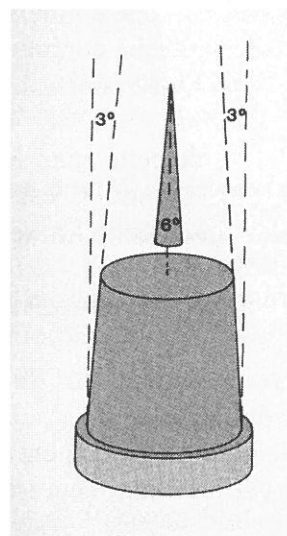


Fig. I.3

Figures I.2 et I.3 : d'après Jorgensen⁴³.

La rétention n'est pas seulement gérée par la dépouille, elle dépend également de la surface axiale développée de la préparation⁵⁸ c'est-à-dire de la hauteur de la préparation et de la création de moyens secondaires de rétention (boîtes, rainures), mais également de la nature du liant, de la forme de la dent à préparer ou de l'état de surface des éléments en présence.

Ces problèmes de rétention sont souvent rencontrés sur les dents maxillaires antérieures en particulier du côté palatin où il est difficile de ménager une paroi axiale palatine suffisamment longue pour assurer à la fois rétention et résistance¹⁹.

Comme nous l'avons dit, le respect de l'espace biologique est en rapport avec la position de la limite cervicale qui, dans la majorité des cas pour des raisons esthétiques, mais également mécanique, en particulier recherche d'une plus grande rétention, est située en position intrasulculaire.

Cette rétention peut être majorée par le microclavetage du produit de scellement lié à l'irrégularité de surface des éléments en rapport, en particulier parois axiales et intrados prothétique^{8, 16, 62}

I.1.3. CRITERES ESTHETIQUES¹⁹

Lorsque nous réalisons la préparation d'une dent destinée à recevoir une couronne céramo -métallique ou céramo-céramique, il faut toujours avoir à l'esprit que le prothésiste dentaire doit disposer d'un minimum de place pour loger le métal (ou la chape alumineuse) et la céramique cosmétique. En effet une épaisseur correcte de céramique est essentielle, car elle permet la superposition de couches distinctes de céramique permettant de donner l'illusion de profondeur dans la couronne¹⁹. Une épaisseur d'environ 1mm de céramique dentine est nécessaire pour reproduire la majorité des teintes. Une préparation insuffisante amène à la réalisation d'une couronne céramo-métallique opaque et en surcontour.

I.2. METHODOLOGIE DE PREPARATION^{4, 8, 19, 33, 58, 68, 92}

I.2.1 PRELIMINAIRES

Avant de préparer une dent il est nécessaire d'apprécier plusieurs paramètres.

I.2.1.1.Contexte parodontal^{10, 19, 30, 48, 52, 71, 85, 105}

a) Le parodonte est-il sain ?

En cas de réponse positive, on peut envisager la reconstruction prothétique immédiatement,

En cas de réponse négative, il est nécessaire dans un premier temps de faire un diagnostic et de proposer une thérapeutique parodontale à notre patient afin d'intervenir secondairement sur un parodonte sain.

b) La gencive attachée est-elle en quantité et qualité suffisante ?

D'une manière générale, il est admis que plus la gencive attachée est épaisse et mieux elle répond aux agressions.

Pour un grand nombre d'auteurs⁷¹, il est nécessaire d'avoir 5 mm de gencive kératinisée : 1 mm de gencive marginale, 4 mm gencive attachée.

Dans le cas où la gencive attachée est limitée tant en épaisseur qu'en hauteur, il est nécessaire par des techniques parodontales adaptées¹² (greffe épithélio-conjonctive, lambeaux déplacés, conjonctifs enfouis) de venir renforcer le parodonte superficiel avant toute réalisation prothétique^{10, 52}.

c) Où doit-on situer la limite prothétique ? ^{4, 10, 19, 52, 105}

Trois situations peuvent être envisagées : supra-gingivale, juxta-gingivale ou intrasulculaire.

- Chaque fois que cela est possible, il est préférable que la limite soit en position supra-gingivale. Cette situation permet en effet un bon nettoyage du joint dento-prothétique et évite toute agression du parodonte marginal.
Malheureusement cette situation est peu utilisée du fait de son aspect inesthétique, mais également pour des raisons de rétention.
- Ceci a pour conséquence d'amener notre limite en position intrasulculaire, avec deux notions importantes :
 - ne pas enfouir notre limite de plus de 1 mm dans le sulcus ^{4, 52}
 - respecter l'espace biologique.
- La situation juxta-gingivale, quant à elle, n'est jamais adoptée car elle ne présente que des inconvénients :
 - irritation de la gencive marginale,
 - aspect esthétique contestable.

d) Le degré d'alvéolyse ⁶⁰

Chez les patients atteints de maladie parodontale, après traitement, on se retrouve souvent avec un rapport couronne clinique/racine clinique défavorable, amenant la limite cervicale en position très apicale. Il est alors nécessaire d'avoir une réflexion sur le positionnement et la forme de ligne de finition notamment sur les dents vivantes. En effet, en fonction de la dépouille, la quantité de matière enlevée est très importante au niveau cervical avec tous les risques que cela suppose pour la santé pulpaire, obligeant souvent à dévitaliser la dent. Pour garantir une résistance mécanique optimale, la réalisation d'un chanfrein circulaire et d'un liseré métallique peut se justifier.

I.2.1.2. Le contexte occlusal

Avant toute préparation, il est nécessaire de bien observer l'harmonie des rapports occlusaux statiques et dynamiques. Cela passera par l'observation de la dent antagoniste afin de vérifier sa morphologie, ainsi que son positionnement. Le cas échéant nous devons proposer au patient, si cela est nécessaire, une coronoplastie (dent versée, légèrement égressée, pointe cuspidienne trop prononcée), voire une reconstruction prothétique de cette dernière (version ou égression trop prononcée, absence de relief occlusal par soins conservateurs mal conduits).

I.2.1.3. Examen radiographique

Cet examen est indispensable car il donne des renseignements sur le volume pulpaire (dent vivante) et le niveau osseux.

L'ensemble de ces considérations permet au praticien d'avoir une véritable réflexion clinique et de tirer toutes les conclusions qui s'imposent avant de commencer la ou les préparation(s).

I.2.1.4. Choix du type de limite cervicale ^{4, 8, 19, 68, 86}

L'évolution des techniques et des matériaux est à l'origine de modifications importantes au niveau du profil des limites, notamment au niveau de la technique céramo-métallique où les finitions alliage/céramique laissent progressivement la place au joint céramique dent.

a) Les couronnes céramo-métalliques ^{15, 16, 19, 44, 46, 58}

➤ Les limites biseautées ^{4, 34, 54, 63, 86, 88, 91, 92}

Les couronnes céramo-métalliques ont été décrites en premier par Brecker¹⁵ en 1956. La description originale de ces restaurations incluait l'utilisation d'un collier métallique. Le type de limite préconisé était pour ce genre de finition le congé biseauté ou l'épaulement biseauté.

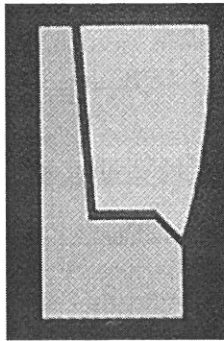
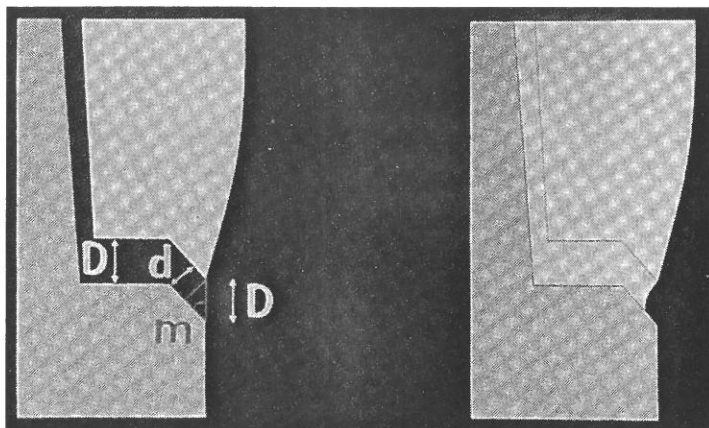


Figure I.4 : Epaulement biseauté (d'après Robin ⁸⁶)

Les épaulements biseautés ont pour origine la théorie de Rosner⁸⁸ qui, par une équation trigonométrique, a montré que l'angulation du bord de la préparation (biseau) permettait une meilleure fermeture de la zone marginale des couronnes et donc une réduction de l'épaisseur du ciment au niveau marginal (Fig. I.4)⁸⁶.



d : hyatus marginal
D : défaut d'enfoncement de la couronne
m : angle formé par le chanfrein et l'axe d'insertion

Figure I 5 : Schéma illustrant la théorie de Rosner (d'après Robin ⁸²).

La réalisation d'un biseau marginal permet de diminuer l'épaisseur du ciment au niveau marginal (d est plus petit que D). Toutefois c'est toujours D qui est exposé.

Certains auteurs ont montré ³⁴ qu'une épaisseur appropriée de vernis d'espacement sur les parois axiales et la face occlusale de la préparation suffisait, dans le cas d'un épaulement, pour obtenir une épaisseur minimale de ciment.

Le biseau avait également pour rôle d'éliminer les défauts situés sur la limite de préparation ainsi que de protéger les prismes d'émail qui pouvaient subsister dans cette région. Ces irrégularités peuvent être supprimées à l'aide de fraises flammes diamantées à grains fins qui s'utilisent à vitesse réduite, pour mieux maîtriser la réduction des tissus ⁸².

➤ **Le joint céramique-dent** ^{14, 19, 36, 47, 58, 81, 84, 90, 102, 106}

Il a été suggéré que l'esthétique cervicale pouvait être améliorée en éliminant le collier métallique vestibulaire et en fabricant le joint marginal en céramique ⁵⁹. L'avantage de réaliser des couronnes céramo-métalliques avec un joint céramique est double ¹⁴: l'absence de collier métallique rend ce type de restauration très esthétique et permet de travailler en enfouissement minimal dans le sulcus, tout en gardant la résistance mécanique de l'infrastructure métallique coulée.

Le type de limite habituellement décrit pour réaliser ce type de préparation est le congé quart de rond ou l'épaulement à angle interne arrondi (Fig I.6 et I.7). Ces deux types de limite engendrent moins de contraintes mécaniques que des formes de préparation présentant des angles vifs ⁶⁹.

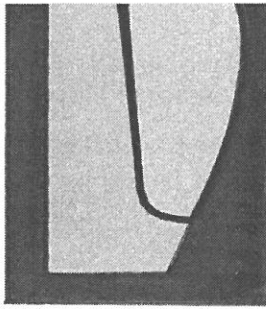


Fig. I.6
Congé quart de rond
(d'après Seymour ⁸⁶)

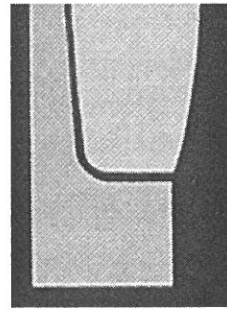


Fig. I.7
Épaulement à angle interne arrondi
(d'après Robin ⁸²)

□ Techniques de réalisation

Plusieurs techniques permettent de réaliser ces joints céramiques :

- Jeffrey a décrit une méthode utilisant une feuille de platine venant recouvrir l'épaulement et supportant la céramique durant la confection du joint.
- En 1969, Vickery et collaborateurs ont introduit une technique sans feuille de platine, dans laquelle la céramique est cuite sur un Modèle Positif Unitaire (MPU) réfractaire.
- Plus récemment, Vryonis a proposé une technique qui permet de condenser directement la céramique sur le MPU, en utilisant un séparateur. Boyle utilise pour se faire une céramique pour épaulement haute fusion (Vita VMK 595). D'autres utilisent la technique de Vryonis, en utilisant des matériaux servant de support à la céramique et qui se volatilisent pendant la cuisson. C'est ainsi que Prince et collaborateurs, décrivent un mélange de céramique et de cire ; Kessler et collaborateurs, ainsi que Lomanto et collaborateurs, un mélange de céramique et de liquide à modeler (Duceram-SD modeling fluid), Salvo et Lomanto, un mélange de céramique et de résine photo polymérisable (Spectrum VLC shoulder porcelain) et enfin, Boyle et Lomanto un mélange de céramique et de liant thermoplastique (Vita SM 90).
- Les techniques utilisant la feuille de platine semblent donner des résultats comparables aux techniques directes en ce qui concerne le hiatus ¹⁴, par contre elles donnent un bord en céramique aigu, ce qui n'est pas le cas des techniques directes qui ont tendance à donner des bords arrondis, responsables d'un hiatus. L'introduction des céramiques hautes fusions pour épaulement a permis de corriger ce problème. D'une manière générale, les joints obtenus avec la feuille de platine sont comparables avec les joints métalliques tant en forme qu'en ajustage.

□ Précision du joint

De nombreuses études expérimentales ^{14, 21, 59} ont permis d'étudier ces joints tout céramique, et en particulier l'ajustage du joint céramique sur la préparation.

Les résultats sont variables en fonction des auteurs :

- Pour Cooney, le meilleur ajustage est obtenu avec la feuille de platine 32 μm , par rapport aux techniques directes 72 μm .
- Boyle et collaborateurs trouvent des résultats sensiblement différents. L'ouverture moyenne au niveau du joint est de l'ordre de 13,7 μm pour la feuille de platine, de l'ordre de 8,2 μm pour la céramique à épaulement haute fusion, et 11,3 μm pour la céramique à épaulement thermoplastique.
- Ces résultats se rapprochent de ceux de Vryonis qui trouve un hiatus de l'ordre de 6 à 10 μm avec les techniques directes.
- Lomanto et collaborateurs ont travaillé sur trois techniques directes pour réaliser les joints, en utilisant un mélange de céramique et de liquide à modeler (Duceram-SD modeling fluid), un mélange de céramique et de résine photo polymérisable (Spectrum VLC shoulder porcelain) et un mélange de céramique et de liant thermoplastique (Vita SM 90). L'ouverture marginale varie de 50 à 80 μm , le meilleur résultat étant obtenu avec le liant thermoplastique.
- Quels que soient les résultats, le hiatus reste acceptable, en regard des conclusions apportées par Mac Lean et Fraunhofer, qui après avoir examiné plus de 1000 couronnes après 5 années, concluent qu'une ouverture marginale inférieure à 120 μm est acceptable.

Le gros avantage des restaurations céramo-métalliques reste leur fiabilité et leur solidité liées à une très bonne résistance mécanique, notamment pour les reconstructions des dents des secteurs cuspidés, ou pour les bridges, lorsqu'une grande résistance est nécessaire¹⁸. Néanmoins elles présentent un inconvénient majeur, celui d'être peu translucide. Ce manque de translucidité vient du fait que l'armature métallique limite le passage de la lumière.

b) Les couronnes sur matrice et couronnes céramo-céramiques

Pour améliorer ce point précis, le praticien pourra dans des indications très précises, utiliser deux types de couronnes céramiques : les couronnes sur matrice et les couronnes céramo-céramiques.

➤ Les couronnes sur matrice^{14, 19, 40, 41, 61, 67}

Dans le cas où la réduction de la dent est minimale et l'espace insuffisant pour une couronne céramo-métallique, une diminution de la chape métallique peut être salutaire. Les couronnes sur matrices, permettent un gain d'épaisseur de la céramique au dépend de la chape métallique¹⁹ que ce soit en utilisant une feuille de platine⁶¹ où en utilisant une préforme en or plissée, brunie et estampée sur le MPU. Ce type de reconstruction sans maquette en cire et sans revêtement ni coulée, permet un gain de temps. La faible épaisseur des feuilles de platine 0,025mm et d'or, de 0,05 à 0,15mm, permet un gain d'épaisseur de céramique permettant plus de couleur en profondeur.

➤ **Les couronnes céramo-céramiques** ^{11, 13, 19, 23, 24, 31, 45, 57, 65, 69, 70, 89}

Les techniques céramo-céramiques où la chape métallique laisse la place à un matériau cosmétique acceptent le même type de limite : épaulement à angle interne arrondi ou congé ¼ rond.

A l'heure actuelle, on peut classer les couronnes céramo-céramiques en trois catégories : les céramiques frittées puis infiltrées, les céramiques pressées et les céramiques usinées.

□ **Les céramiques infiltrées : Le procédé In céram**

Les céramiques filtrées puis infiltrées par un verre teinté, ont été mises au point en 1985 par Sadoun, avant d'être commercialisées en 1989 par la société Vita sous le nom de In céram.²³ Ces infrastructures sont ensuite émaillées de céramiques cosmétiques adaptées en coefficient de dilatation. Au départ, le verre d'infiltration était constitué par l'alumine, d'où le nom de In céram Alumina. Afin d'améliorer les propriétés mécaniques et esthétiques (translucidité), deux variantes sont apparues : In céram Zircone et In céram Spinnel.

□ **Les céramiques pressées**

• **Le procédé Cerestore**

Les céramiques pressées ont vu le jour en 1983 sous la forme du système Cerestore⁹². Ce système est basé sur la coulée d'une chape en céramique alumineuse pressée, dont la maquette en cire est élaborée sur un MPU en résine époxyde. L'ensemble maquette et MPU, est mis en revêtement, puis la cire éliminée à l'eau bouillante. La céramique, sous forme de pastilles thermoplastiques, est chauffée à 160° et pressée dans le moule préchauffé. La cupule est ainsi coulée directement sur le MPU. Après refroidissement, la chape en céramique est suffisamment résistante pour pouvoir être affinée, travaillée avec des meulettes ou des fraises. Elle est alors séparée du modèle en époxyde et montée en température à 1295°C. L'élaboration de la reconstruction est enfin complétée par l'ajout de couches successives de matériaux céramiques.

• **Les couronnes Empress**

Les couronnes Empress (1990) constituent l'évolution de ces premières céramiques pressées.²⁴ Elles reposent sur la technique de la cire perdue et se présentent sous forme de lingotins de céramiques réchauffés, puis injectés dans un moule en revêtement de l'élément à fabriquer. Cette céramique est un verre renforcé à la leucite de haute translucidité. La mise en forme sous pression permet d'obtenir des armatures sur lesquelles seront stratifiés des composants esthétiques adaptés ou des coiffes monochromes simplement maquillées en surface.⁵⁷

□ **Les céramiques usinées : le système Procera** ^{45, 57, 89}

Les céramiques usinées dont le chef de file est constitué par le système Procera sont beaucoup plus récentes. Ce dernier système fait appel à une numérisation en 3 dimensions du modèle positif unitaire, par un scanner, qui est ensuite envoyée par courrier électronique en Suède (Göteborg). L'information est traitée et les infrastructures fabriquées.

□ **Précision du joint**

Tsuen Lin et collaborateurs ont étudié l'adaptation marginale et interne de chapes Procera, en faisant varier les formes de préparation et ce à trois niveaux : type de ligne de finition (biseau, congé, épaulement), réduction occlusale (plate, normale, exagérée), aspect plus ou moins ondulé de la ligne de finition en proximal et morphologie des éléments secondaires de rétention proximaux. Ils ont montré que le congé et l'épaulement donnaient des hiatus marginaux comparables, entre 51 et 68 μm , bien meilleurs que la finition en biseau, 135 μm .

La réduction occlusale normale (homothétique) donne les résultats les plus fiables au niveau ajustage que ce soit dans la région de la fosse (140 μm) ou au niveau cuspidien (24 μm), contrairement à la réduction plate qui donne un hiatus de l'ordre de 73 μm au niveau cuspidien et la réduction exagérée (relief cuspidien très marqué), qui donne un hiatus de 643 μm au niveau de la fosse centrale. L'aspect plus ou moins ondulé de la limite en proximal, ne semble pas avoir d'influence sur l'ajustage des chapes Procera. Il n'en est pas de même des éléments secondaires de rétention où le meilleur ajustage est obtenu avec des formes type boîtes et non rainures.

De nombreuses études ont été faites sur le hiatus dento-prothétique :

- Armand et collaborateurs ont comparé les joints dento-prothétiques obtenus par les techniques alliage-dent (technique de Stein et de Weiss), à ceux obtenus par les techniques céramique-dent (joint céramique dent / céramique « margin » basse fusion, joint céramique dent / céramique « margin » haute fusion). Les résultats montrent que ce sont les techniques qui utilisent les biseaux métalliques (Stein), qui offrent les joints dento-prothétiques de meilleure qualité. Si l'on considère les techniques utilisant le joint céramique-dent, les meilleurs résultats sont obtenus avec des céramiques basse fusion, en raison de leur température de fusion peu élevée.
- Hung et collaborateurs pensent qu'un hiatus acceptable doit être de l'ordre de 50 à 75 μm ,
- Weaver et collaborateurs de l'ordre de 70 +/- 10 μm ,
- Kenneth et collaborateurs ont montré un hiatus variant de 56 à 63 μm pour le système Procera, alors qu'il est de l'ordre de 55 +/- 29 μm pour le système Empress et de 34 à 123 μm pour le système In céram,
- Tuntiprawon et Wilson ont montré que la précision de l'ajustage pouvait avoir une influence sur le pronostic clinique. En effet, les couronnes tout céramique, affichent une résistance à la compression plus importante quand l'ajustage axial a une dimension moyenne de 73 μm . Leur étude montre que lorsque la moyenne de cet ajustage augmente jusqu'à 122 μm , les fractures surviennent pour des forces plus faibles, sans que l'assise de la couronne soit améliorée.

Si le choix du type de limite cervicale est très important en fonction de la reconstruction désirée, il est primordial que cette limite forme une ligne courbe et continue, suffisamment marquée et nette, pour qu'elle puisse être enregistrée par le matériau à empreinte et parfaitement reproduite par le matériau de réplique.

I.2.1.5. Epaisseur des préparations

D'une manière générale, il semble admis que, dans le cas d'une préparation pour couronne céramo-métallique, la quantité de matière à enlever soit de l'ordre de 1,2 mm à 1,4 mm sur la face vestibulaire en fonction de la teinte à reproduire pouvant aller jusqu'à 1,7 mm dans le cas de teintes claires sur des dents trapues (0,2 à 0,4 mm pour le métal, 0,2 d'opaque, 0,8 à 1,1 mm de céramique dentine). En proximal et en palatin, on se contente de 0,6 à 0,8 mm. La limite doit former une ligne courbe et continue, parfaitement lisible au laboratoire.³³

Pour certains auteurs⁹¹, l'épaisseur de la préparation dépendra du type de métal utilisé, allant de 0,8 mm minimum dans le cas de métaux non précieux (0,1 mm de métal, 0,7 mm de céramique), jusqu'à 1,5 mm dans le cas de métaux précieux (0,3 à 0,5 mm de métal, 1 à 1,5 mm de céramique).

Dans le cas de préparations pour couronnes céramo-céramiques, du fait de l'absence de l'armature métallique, la quantité de matière à enlever sera de l'ordre de 1,0 à 1,2 mm en vestibulaire, 0,5 à 0,7 en proximal et 0,6 à 1,0 mm en palatin, avec une ligne de finition proximale qui devra faire une courbe harmonieuse avec un feston proximal peu profond, afin d'éviter toute encoche en V responsable d'une scission des faces vestibulaires et linguales¹⁹.

Certains auteurs^{58, 86} préconisent l'utilisation de clés en silicone coupées dans le plan horizontal ou vertical qui constituent de véritables guides de coupe pour évaluer la réduction occlusale et axiale. Elles permettent de procéder aux corrections nécessaires avant la prise d'empreinte. La réduction des tissus ainsi contrôlée permet de garantir une épaisseur suffisante et homogène de métal et/ou de céramique pour la future restauration.

I.2.2 PROTOCOLE OPERATOIRE DES PREPARATIONS ^{4, 8, 19, 33, 58, 68}

La préparation des dents piliers reste un des sujets les plus traités dans la littérature. Quelle que soit la méthode mise en œuvre les objectifs à atteindre restent les mêmes :

- permettre la rétention, la sustentation et la stabilisation de la reconstruction prothétique,
- respecter le principe d'économie tissulaire, véritable compromis permettant de conserver un maximum de tissus dentaires sains (respect de la vitalité pulpaire) tout en permettant de réaliser un élément prothétique résistant, stable et esthétique en ménageant suffisamment de place au matériau cosmétique,
- réaliser des limites précises garant d'une adaptation marginale optimale,
- respecter le parodonte marginal,
- satisfaire aux impératifs esthétiques,
- s'intégrer dans le schéma occlusal.

Quel que soit le type de dent, antérieure ou postérieure, la technique de pénétration contrôlée semble faire l'unanimité avec quelques variantes que ce soit au niveau du type de fraise utilisée ou sur la technique elle-même.

Cette technique consiste à réaliser des rainures guides sur toutes les surfaces à préparer permettant d'obtenir d'emblée la profondeur de coupe, le type de limite désirée (congé 1/4 rond ou épaulement à angle interne arrondi) et de respecter l'homothétie de la dent en même temps.

I.2.2.1. Dents antérieures

Le protocole développé est celui proposé par Armand. Nous décrivons dans un deuxième temps les variantes apportées par certains auteurs.

a) Étape 1 : préparation de la face vestibulaire : rainure cervicale

Armand préconise l'utilisation de fraises boules diamantées (016, Ø 1,6 mm) travaillant sur la moitié de leur diamètre soit 0,8 mm. Les fraises sont utilisées dans un premier temps le long de la concavité de la gencive marginale réalisant une rainure cervicale vestibulaire permettant d'obtenir un congé 1/4 de rond situé en position supra-gingivale (Fig. I.8).

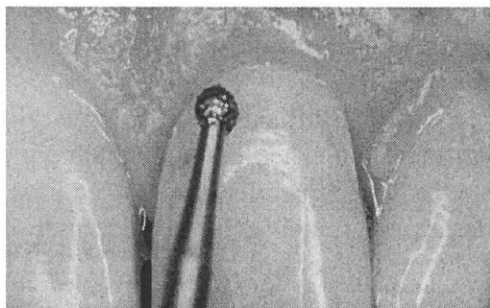


Figure I.8 (d'après S. Armand)

b) Etape 2 : préparation de la face vestibulaire : rainure verticale

A partir de cette rainure, et toujours avec la même fraise, des rainures verticales sont réalisées jusqu'au bord libre (2 à 3 rainures) toujours à la même profondeur. Les rainures verticales suivent la convexité de la face vestibulaire de façon à donner la même profondeur de coupe quelle que soit la zone considérée (Fig. I.9).

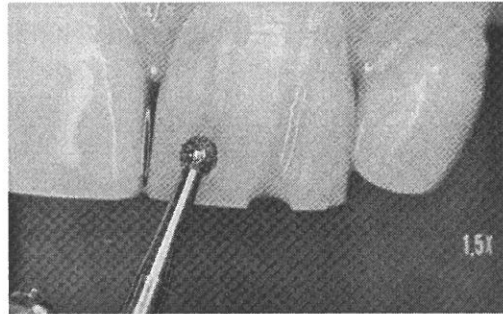


Figure I.9 (d'après S.Armand)

c) Etape 3 : préparation de la face vestibulaire : réunion des rainures

La face vestibulaire peut être préparée avec un instrument diamanté, congé 1/4 de rond dont le diamètre est de 1,4 mm. Cette préparation permet de supprimer les pans de dentine et d'émail subsistants après passage de la fraise boule et de réaliser entre les deux points de contacts proximaux une préparation dite pelliculaire prédéterminée par la fraise boule (Fig. I.10). Cette étape se fait en respectant le principe de la double angulation (Fig. I.11).

Armand préfère utiliser des fraises cylindriques plutôt que coniques car elles permettent, selon lui, de déterminer le degré de dépouille en fonction de la dent à préparer. De plus, elles sont plus faciles à utiliser en proximal. Le même protocole peut être appliqué en utilisant des fraises coniques. De même, il utilise des fraises congé 1/4 de rond mais ce protocole reste valable avec des fraises destinées à réaliser un épaulement à angle interne arrondi.

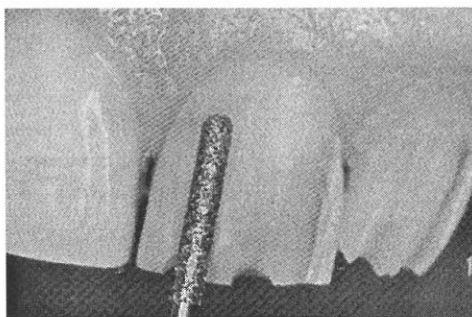


Figure I.10



Figure I.11

(d'après S. Armand)

d) Etape 4 : Préparation des faces proximales

Une fois la face vestibulaire préparée, on peut procéder à la préparation des faces proximales. On utilise une fraise de même forme avec un diamètre légèrement inférieur (diamètre 0,12 ; 1,2 mm) de manière à pouvoir travailler dans cette zone sans léser les dents adjacentes. On progresse de proche en proche depuis la face vestibulaire jusqu'à la face palatine de la dent (Fig. I.12).

Selon Armand, l'utilisation d'une fraise cylindrique et non conique dans cette région permet, du fait d'un diamètre identique sur toute la hauteur de la partie travaillante, de travailler sans risque de léser les dents adjacentes et ce pour une largeur de limite cervicale identique.

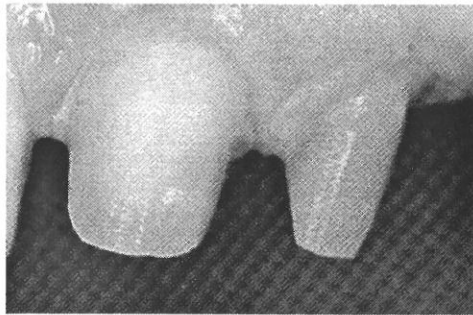


Figure I.12 (d'après S. Armand)

La préparation de la limite cervicale palatine se fait avec le même instrument en raccordant la préparation proximale mésiale à la distale .

e) Etape 5 : Préparation de la face palatine

Elle se fait à l'aide de la fraise en forme d'olive. La forme de cet instrument permet de respecter la concavité palatine et de réaliser une réduction homothétique compatible avec la fonction et en particulier le guidage incisif.

C'est également à ce stade que la position de bord libre est réglée (réduction d'environ 2 mm, (Fig. I.13)).

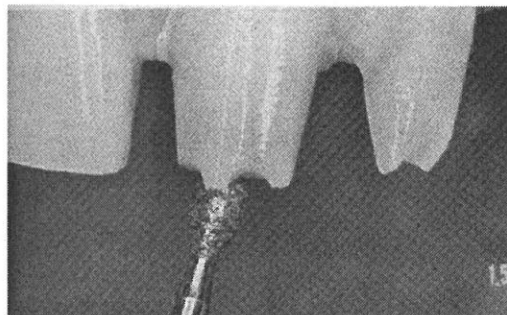


Figure I.13 (d'après S.Armand)

f) **Étape 6 : Positionnement de la ligne de finition en position intra-sulculaire**

A ce stade, la préparation est pratiquement terminée. Si le praticien désire pour des raisons esthétiques ou de rétention amener la ligne de finition en position sous gingivale, il lui faut déplacer la limite à l'aide de la fraise diamantée congé quart de rond de diamètre 0,14.

Cette étape est très importante dans l'intégration biologique de la prothèse et particulièrement minutieuse. Elle est abordée et détaillée dans un chapitre ultérieur car elle est l'objet notre étude.

g) **Étape 7 : Polissage de la préparation**

La finition est réalisée à l'aide d'instruments diamantés de même profil que celui utilisé lors de la préparation, mais de granulométrie plus fine à 30 μm (bague rouge). Cette étape permet non seulement d'améliorer l'état de surface (rugosité) de la préparation, mais également d'assurer un raccordement harmonieux des surfaces préparées en adoucissant les angles saillants.

h) **Protocole modifié en fonction des auteurs**

Il existe d'autres protocoles de préparation des dents antérieures qui respectent sensiblement le protocole précédemment décrit avec quelques variantes.

➤ **Magne et Belser**

Pour ces deux auteurs (Université de Genève), **la première étape** consiste à préparer les faces proximales. Cette préparation doit respecter le grand axe de la dent et définir ainsi l'axe générale de la future préparation.

Ils utilisent des fraises coniques à l'extrémité arrondie qui permettent d'obtenir une dépouille standardisée en tenant l'axe de l'instrument constant durant la réduction.

Ceci est pour eux un avantage notable par rapport aux instruments cylindriques⁴, qui nécessitent un mouvement correcteur afin d'obtenir la dépouille axiale. Ces fraises permettent d'assurer une transition douce entre la partie axiale et l'épaule de la préparation. Il existe cependant un risque de créer un épaulement en forme de cuvette qui sera corrigé par un second passage avec l'instrument de finition dont l'extrémité sera centrée sur le bord externe de l'épaulement.

La deuxième étape consiste en la réduction axiale et incisale. La réduction axiale se fait selon la technique de la pénétration contrôlée sans utiliser de fraises boules mais en réalisant les tranchées directement avec la fraise conique à angle interne arrondie.

La troisième étape consiste à repositionner les limites en situation intrasulculaire.

La quatrième étape consiste à préparer la face palatine à l'aide d'une fraise poire.

La préparation est ensuite contrôlée à l'aide de la clé en silicone puis polie.

➤ **Giot**

Pour Giot, la technique de la pénétration contrôlée, qui consiste à réaliser des rainures guides de profondeur, parallèles à l'axe de l'instrument, puis à les réunir, n'apporte pas toutes les garanties. Il pense en effet qu'on développe de cette manière une surface vallonnée difficile à régulariser. Il est préférable selon lui de réaliser chaque élément de la préparation en enfonçant d'emblée l'instrument rotatif à la profondeur requise puis en le faisant progresser en le maintenant à cette profondeur jusqu'à l'autre extrémité de la surface à préparer.

Il utilise des fraises coniques à angle interne arrondi courtes, qui, selon lui, ont l'avantage d'amplifier moins le jeu de la tête du contre-angle ou de la turbine, et d'être moins flexibles, ce qui accroît la précision d'exécution.

Il commence par réduire le bord incisif d'environ 2 mm, avant de préparer la face vestibulaire en deux étapes distinctes, partie incisale puis partie cervicale.

A ce stade, l'observation minutieuse de la morphologie, permet de mettre en évidence une double orientation ou angulation matérialisée par une ligne de transition.

La visualisation de cette ligne de transition permet de diviser la préparation en deux étapes :

- une première qui concerne la zone comprise entre le bord incisif réduit et la ligne de transition,(Fig. I.14 et I.15),
- une seconde comprise entre la ligne de transition et le bord cervical.

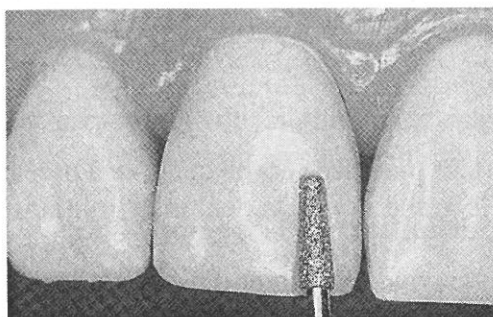


Figure I.14

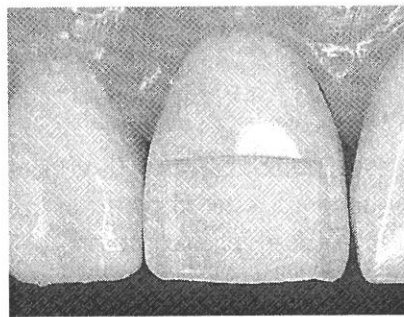


Figure I.15

Figures I.14 et I.15 : d'après Giot.

L'instrument choisi est cylindrique, court pour les raisons exposées précédemment, avec une extrémité conique 1/4 de rond où angle interne arrondi en fonction du type de limite choisie. La progression de l'instrument s'effectue d'emblée à la bonne profondeur, en un seul passage. Cette manœuvre permet de faire apparaître un épaulement intermédiaire ainsi que des gouttières proximales.

La deuxième étape consiste à préparer la partie cervicale, qui assure la rétention et détermine la position de la limite cervicale destinée à recevoir la future reconstruction prothétique (Fig. I.16 et I.17).

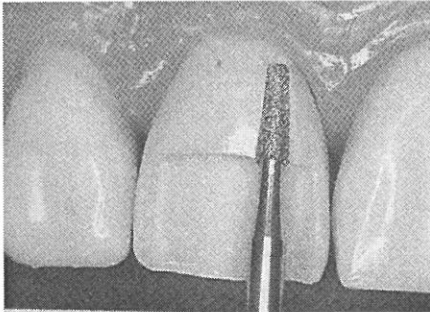


Figure I.16

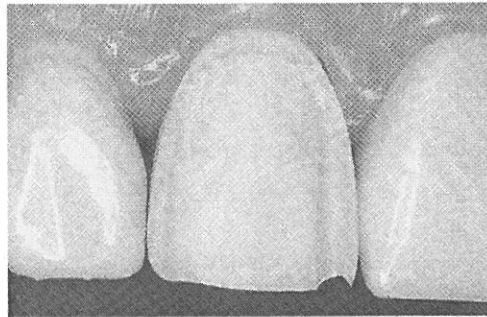


Figure I.17

Figures I.16 et I.17 : d'après Girot

Girot propose une variante qui permet un contrôle extrêmement précis de la réduction vestibulaire. Il s'agit de réaliser, avant les deux étapes précédentes, des rainures guides de profondeur au niveau du bord incisif, de la ligne de transition et de la limite cervicale. Ces rainures perpendiculaires à l'axe de l'instrument utilisé pour réduire les îlots subsistants, n'entraînent pas le phénomène de vallonement évoqué plus haut. Elles sont réalisées avec une fraise boule dont le diamètre est choisi en fonction de l'épaisseur de matière à enlever.

Une fois que la face vestibulaire est préparée dans son intégralité, on peut passer aux faces proximales. On utilise le même instrument ou un de diamètre plus réduit jusqu'à la face palatine, qui est préparée à son tour au niveau de sa partie cervicale, en réunissant les préparations proximales.

Il reste maintenant à préparer la face palatine, dans sa partie cingulaire et supra cingulaire, à l'aide d'une fraise boule ou flamme diamantée de gros diamètre.

Le contrôle de l'espace ménagé est effectué à l'aide de clés en silicone.

La préparation est ensuite polie de manière classique.

I.2.2.2. Dents postérieures

La préparation des dents postérieures reprend les mêmes protocoles que précédemment avec quelques paramètres spécifiques notamment la préparation de la face occlusale. Elle doit reproduire les cuspidés, les versants cuspidiens, les fosses et fossettes marginales de manière à ménager des épaisseurs suffisantes et régulières aux restaurations céramo-métalliques et céramo-céramiques. La quantité de matière à enlever est de l'ordre de 15 à 20 dixièmes de mm.

Les limites cervicales peuvent être supra-gingivales.

La réduction occlusale commence par les versants cuspidiens internes, à l'aide d'une fraise diamantée cylindrique dont le diamètre varie en fonction de la quantité de matière à enlever.

Cette réduction doit tenir compte de l'orientation et de l'inclinaison des versants cuspidiens ainsi que de la position des sillons dont l'orientation est un élément primordial dans la dynamique occlusale. Cette première étape peut se faire soit en réalisant plusieurs rainures qui sont réunies, soit en enfonçant d'emblée l'instrument à la profondeur désirée, puis en le conduisant, pour réaliser en un seul passage la réduction successive de chacun des pans de ces versants internes. Puis c'est au tour des versants externes

I.2.2.3. Déplacement de la ligne de finition en position intrasulculaire: Pénétration sulculaire

Cette étape qui consiste à enfouir la limite de préparation en position intrasulculaire est primordiale (Fig. I.18). De la manière dont elle sera menée dépend l'intégration esthétique et biologique de notre future prothèse.

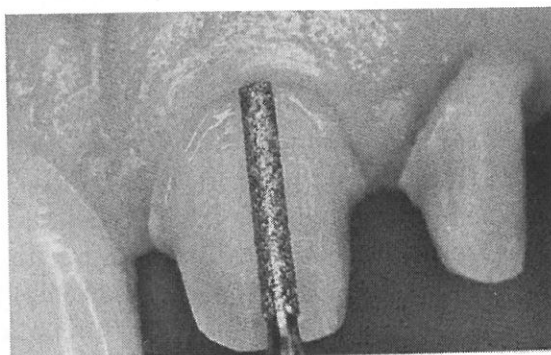


Figure I.18 (d'après S. Armand)

Le praticien doit travailler dans une zone peu profonde, de l'ordre de 1 à 2 mm, et il doit en permanence trouver la juste mesure entre un enfouissement maximal garant d'un bon rendu esthétique et un enfouissement minimal garant du respect de l'attache épithéliale et par la même d'une bonne santé du parodonte marginal ^{10, 12, 30, 52}

Il semble qu'une zone tampon entre la limite cervicale et le fond du sillon gingivo-dentaire soit nécessaire pour protéger de toute agression l'épithélium de jonction ¹⁰⁵. En effet, il est impossible, même avec une grande prudence, de ne pas blesser les tissus et en particulier la paroi interne du sillon, voire l'attache épithéliale et le conjonctif sous jacent ^{10, 30}.

Certains auteurs ^{28, 58, 68} réalisent une déflexion gingivale, afin de préparer cette zone sans traumatisme. Ils utilisent pour se faire des cordonnets rétracteurs non imprégnés, qui en déplaçant la gencive marginale en position plus apicale, dégagent la ligne de finition et permettent ainsi de l'amener en position plus apicale.

Magne et Belser corrigent le bord marginal aigu, créé par le profil de l'instrument, à l'aide de fraises de finition utilisées tangentiuellement (Fig. I.19 à I.24).

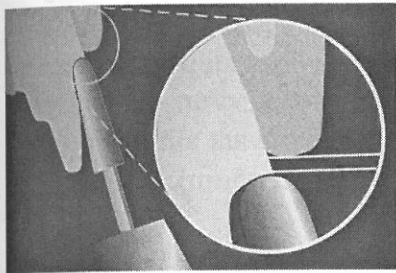


Figure I.19

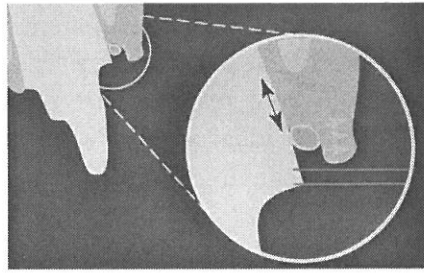


Figure I.20

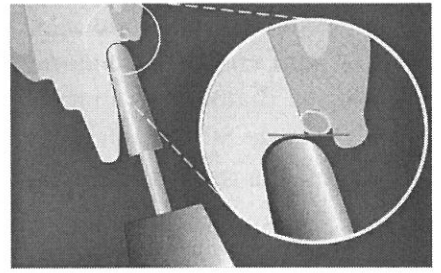


Figure I.21

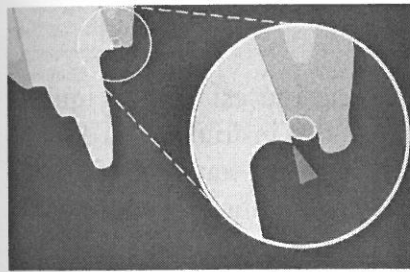


Figure I.22

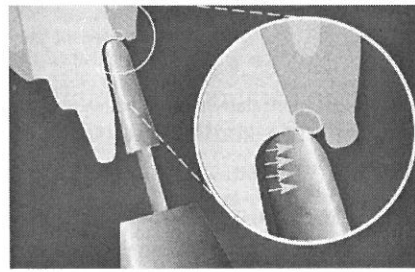


Figure I.23

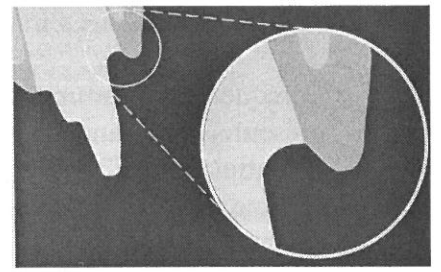


Figure I.24

Figures I.19 à I.24 : d'après Magne et Belser

Liger et Estrade utilisent une fraise à grains fins, de type jacket modifiée (Goldstein), de profil analogue à celle utilisée pour la préparation. Cette fraise leur permet d'aplanir la limite cervicale et de supprimer d'éventuels rebords d'émail marginaux. Ils polissent la limite à l'aide d'une pointe montée en caoutchouc siliconé.

D'autres⁴ pensent que la déflexion n'est pas indispensable dans un premier temps, et que le profil de l'instrument permet de ne pas agresser le parodonte marginal. Il pense qu'en l'absence de déflexion, le praticien est guidé par le profil gingival autour de la dent et qu'il peut ainsi mieux situer la limite cervicale. Ce n'est qu'après avoir situé la limite en bonne position, que sera réalisée la déflexion de manière à parfaire la limite, en particulier éliminer le « bec » créé par le profil de l'instrument diamanté.

Ce profil doit être remodelé pour obtenir un angle de raccordement à 90° entre profil d'émergence radulaire et limite cervicale. Dans le cas où l'on désire réaliser un joint céramique-dent, Armand préconise de passer une fraise diamantée dite à sulcus, bague rouge (granulométrie 30µm) ou jaune (15µm) de manière à supprimer tous les prismes d'émail non soutenus.

Bass et collaborateurs utilisent, pour amener l'épaulement en position intrasulculaire et pour le polir, des fraises en carbures de tungstène dont l'extrémité est mousse et dont le profil arrondi permet d'obtenir un épaulement qui fait un angle de 110 à 120° par rapport à l'axe de la préparation. Ces fraises sont utilisées perpendiculairement au grand axe de la dent, à une vitesse de l'ordre de 20 000 à 30 000 t/m. Elles permettent de positionner l'épaulement 0,5 mm en intrasulculaire, tout en éliminant les irrégularités de surface liées au passage des fraises diamantées grains moyens, qui sont responsables, après scellement, d'un hiatus de l'ordre de 80 µm. Or, d'après lui, le joint idéal est de l'ordre de 20µm, pouvant aller jusqu'à 50µm. La rugosité de la limite après passage de cette fraise est très faible (Rt = 5µm).

I.2.3. CONCLUSIONS

L'ensemble de ces considérations prouvent qu'il n'existe pas une technique faisant l'unanimité pour positionner la limite en position intrasulculaire.

Plusieurs constatations s'imposent :

- Lorsque nous commençons une préparation, le premier tissu concerné est l'émail, qui présente une grande dureté. Il est à ce stade nécessaire d'utiliser des instruments à fort potentiel abrasif, utilisé à grande vitesse. A partir du moment où l'on travaille sur la dentine, tissu beaucoup moins dur, il n'est pas nécessaire d'utiliser la même instrumentation.
- Lorsque nous descendons la limite en position intrasulculaire, nous devons travailler dans une zone peu profonde de l'ordre de 1 à 2 mm. L'enfouissement maximal ne doit pas dépasser 1mm, ce qui est peu, sous peine de léser l'attache épithéliale. Il faut donc une grande maîtrise du geste avec des instruments abrasifs tournant à grande vitesse.
- Il est impossible en l'absence de déflexion de ne pas léser la paroi interne du sillon.
- Quels que soient les auteurs, ils utilisent tous, à un moment de la préparation, la technique de déflexion et de protection gingivale. Or il est très difficile de déplacer une fraise diamantée le long d'un fil sans que celui-ci ne vienne se « prendre » dans la fraise.
- Il est indispensable que la limite présente un profil régulier, avec un état de surface le plus lisse possible. Or comme nous venons de le décrire, la granulométrie des fraises associée à une vitesse de rotation importante, rendent le contrôle du geste difficile.
- Notre proposition et tout notre axe de travail seraient d'utiliser des inserts ultrasonores diamantés, dont l'extrémité aurait le même profil que les fraises diamantées, congé quart de rond ou épaulement à angle interne arrondi, et dont la vibration permettrait d'amener l'épaulement en position intrasulculaire (Fig. I.25 et I.26).

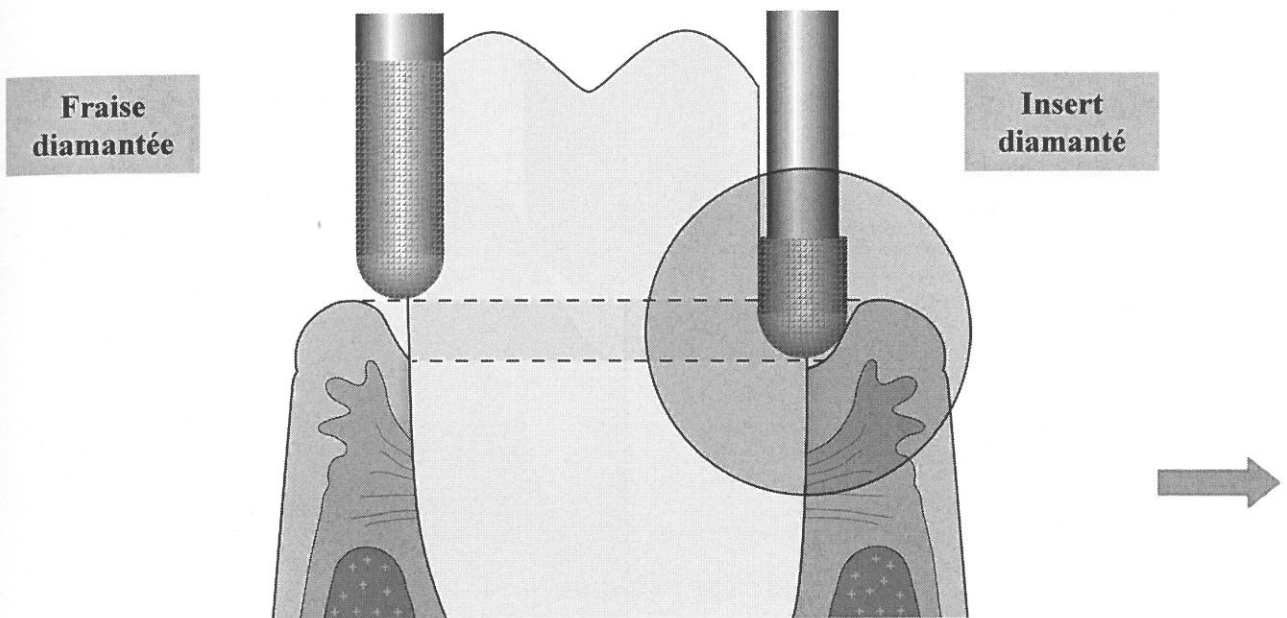


Figure I.25

Figure I.25 : Schéma illustrant la complémentarité souhaitée entre les fraises diamantées et les inserts ultrasonores diamantés. La préparation serait effectuée en utilisant un protocole classique (fraises diamantées bagues verte et rouge), permettant de positionner la ligne de finition en position juxta gingivale. Les inserts diamantés seraient alors utilisés pour déplacer la limite en position intrasulculaire.

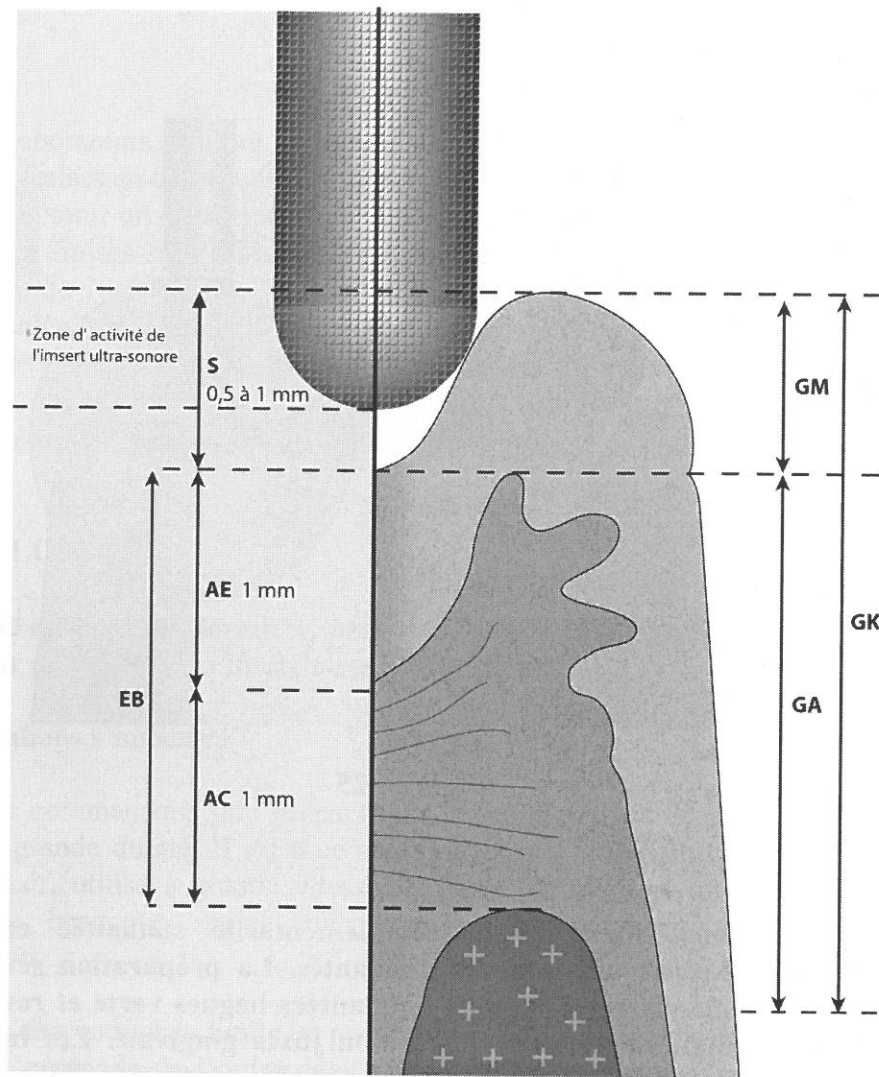


Figure I.26

Figure I.26 : Schéma illustrant la zone d'activité de l'insert diamanté.

Du fait du mode de fonctionnement de l'instrument (faible amplitude de déplacement de l'extrémité de l'insert et usinage de la dentine beaucoup plus lent qu'avec une fraise), il serait possible de descendre la limite en position intrasulculaire de manière progressive. Cela permettrait de garder un bon sens tactile de l'épaule, tout en contrôlant facilement sa forme et sa position et en diminuant les risques de léser l'attache épithéliale et le conjonctif sous jacent. La déflexion gingivale deviendrait obsolète.

La pénétration sulculaire serait assurée par des inserts de forte granulométrie ($> 100\mu\text{m}$), équivalent des bagues vertes, puis l'état de surface serait amélioré grâce à des inserts de granulométrie plus faible (entre 30 et $50\mu\text{m}$), équivalent des bagues rouges.

CHAPITRE II

**LES ULTRASONS ET LEURS APPLICATIONS EN
ODONTOLOGIE**

II.1. DEFINITIONS

II.2. LA PIEZO ELECTRICITE

II.3. LA MAGNETOSTRICTION

II.4. L'ELECTROSTRICTION

II.5. PROPRIETES ET APPLICATIONS DES ULTRASONS

II.5.1. Pour les liquides

II.5.2. Pour les solides

II.6. APPLICATION EN ODONTOLOGIE

II.6.1. En Parodontologie

II.6.2. En Endodontie

II.6.3. En Odontologie conservatrice

II.6.4. En Prothèse

II.1. DEFINITION

On qualifie d'ultrasons, les ondes élastiques dont la fréquence est comprise entre 15 KHz et plusieurs centaines de Mégahertz.

II.2. LA PIEZO-ELECTRICITE

C'est Paul Langevin qui eut le premier l'idée d'appliquer le phénomène de piezo-électricité (découvert par Pierre et Jacques Curie) à la production d'ultrasons. Excité par un courant électrique de haute fréquence, le quartz et autres cristaux piezo-électriques, vibrent mécaniquement à la même fréquence. Ces vibrations sont surtout intenses lorsque l'une des dimensions du cristal favorise la résonance.

II.3. LA MAGNETO-STRICTION

Découverte par J.P Joule, elle permet d'obtenir une vibration mécanique dans un matériau ferro-magnétique soumis à un champ magnétique oscillant. La fréquence obtenue est le double de la fréquence d'excitation sauf si l'on polarise le matériau au moyen d'un champ magnétostatique suffisamment intense. Il faut éviter que l'échauffement ne dépasse le point de curie, au-delà duquel l'effet de magnétostriction disparaît.

II.4. L'ÉLECTRO-STRICTION

Un phénomène identique se produit dans les matériaux ferro-électriques. Les plus usités pour produire ou détecter les ultrasons sont le titanate de baryum, le zirconate de plomb et le nitrate de plomb. Ils se présentent sous forme de céramiques frittées, auxquelles on peut imposer une polarisation permanente et donner par moulage ou meulage, les formes que l'on désire en vue d'obtenir les modes de vibration les plus variés : longitudinale, transversale, de flexion, de torsion, etc. ... Leur point de curie se situe entre 100 et 200°C.

Les transducteurs magnétostrictifs et électrostrictifs ne permettent guère de dépasser 100KHz.

II.5. PROPRIETES ET APPLICATION DES ULTRASONS

La directivité des ultrasons, jointe à leur capacité de traverser des milieux opaques à la lumière, est exploitée dans trois directions principales : la détection sous marine (sonar), le contrôle non destructif des matériaux (détection des défauts), le diagnostic médical (échographie).

Les effets d'une synergie résonance-intensité sont souvent spectaculaires et ont reçu de nombreuses applications pratiques.

II.5.1. POUR LES LIQUIDES

Le phénomène central est la cavitation. On admet qu'il existe dans les liquides des micro domaines fragiles (germes de cavitation) qui ne peuvent être constitués que par des bulles de gaz ou de vapeurs accrochées aux aspérités de particules en suspension. Ces petites bulles sont mises en pulsation par le champ ultrasonore, auquel elles empruntent ainsi de l'énergie. Pour des surpressions oscillatoires faibles, les bulles grossissent (effet de dégazage du liquide). Pour une intensité plus forte, on a une suspension stable de bulles et si celles-ci entrent en résonance, il se produit un bruit. Enfin, à des pressions encore plus fortes, les bulles sont instables et s'effondrent en restituant leur énergie sous forme d'ondes de choc.

II.5.2. POUR LES SOLIDES

C'est la mobilisation par vibration et l'échauffement qui sont les principales sources d'action des ultrasons. Mentionnons le décapage des pellicules d'oxydes (équivalent du détartrage pour ce qui nous intéresse) et l'usinage par ultrasons (équivalent de l'usinage de la dentine) qui utilise la vibration de particules abrasives.

II.6. APPLICATION EN ODONTOLOGIE

Les ultrasons sont utilisés en Odontologie depuis de nombreuses années

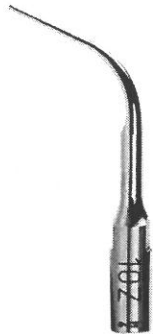
II.6.1. EN PARODONTOLOGIE ^{27, 93, 94, 95}

Dans le traitement des maladies parodontales, les ultrasons sont utilisés sous la forme du détartreur à ultrasons dont le rôle est l'élimination du tartre, du biofilm et de ses toxines. Le détartreur était utilisé au départ durant la phase initiale du traitement, dans les régions supra gingivales, alors que le débridement sous gingival se faisait à l'aide de curettes. Cette deuxième étape devait permettre d'obtenir une surface radiculaire dure et lisse après élimination des dépôts radiculaires mous et calcifiés. Ce surfaçage se justifiait par l'élimination du ciment et de la dentine infiltrés par les bactéries de la plaque. Des études ^{27, 94} ont montré que les bactéries produisaient des endotoxines qui n'adhéraient que faiblement à la surface radiculaire et ne pénétraient pas le ciment, d'où la possibilité de les éliminer par lavage et polissage minutieux. Pour cette raison, une instrumentation trop extensive du ciment n'est plus justifiée aujourd'hui pour les éliminer. Le débridement parodontal ne doit pas inclure obligatoirement le lissage radiculaire ou l'élimination du ciment et de la dentine.

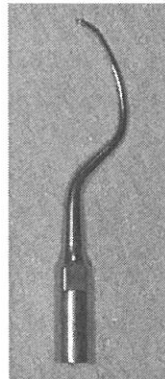
Plusieurs études récentes^{27, 94} ont montré que l'élimination de la plaque bactérienne et du tartre à l'aide d'instruments ultrasonores permettait d'obtenir des résultats similaires voire supérieurs, dans certains cas, à ceux obtenus avec une instrumentation manuelle (Fig. II.1, II.2, II.3, II.4)



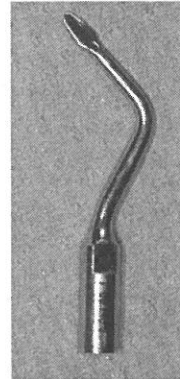
Insert n°1
Fig. II.1



Insert 10Z
Fig. II.2



Insert n°
Fig. II.3



Insert Twiny
Fig. II.4

Figures II.1 à II.4 : Inserts ultrasonores commercialisés par la société Satelec utilisés en Parodontologie.

Les générateurs ultrasoniques utilisent des fréquences variant de 25 000 à 50 000 hertz. Sur ces appareils, un potentiomètre permet le réglage de l'amplitude avec laquelle l'insert vibre. On distingue deux modes de fonctionnement : la magnétostriction et la piezo-électricité.

Dans le cas de la magnétostriction, on trouve dans la pièce à main des plaques métalliques entourées d'un solénoïde. Lors du passage d'un courant alternatif, ces plaques sur lesquelles est soudé l'insert entrent en vibration. L'inconvénient présenté par ce système est qu'après un certain temps d'utilisation, les propriétés physiques des plaques métalliques s'altèrent et les vibrations perdent de leur puissance. De plus, le solénoïde, dégage une quantité importante de chaleur, ce qui nécessite un courant d'eau pour le refroidissement. Le mouvement des inserts est elliptique.

Dans le cas de la piezo-électricité, la pièce à main contient donc un composant de céramique susceptible de se déformer sous l'effet d'une stimulation électrique qui provoque à son tour la mise en vibration de l'insert. Les détartreurs piezo-électriques ne nécessitent pas de liquide de refroidissement, car la quantité de chaleur produite est négligeable. Le mouvement des inserts est linéaire.

II.6.2. EN ENDODONTIE

Les ultrasons sont utilisés pour la préparation des canaux, dont la finalité est une mise en forme du canal en vue d'une obturation radiculaire biologique et étanche (Fig. II.5)²⁶. Des études ont montré qu'il était difficile d'explorer les canaux courbes, mais que le nettoyage des canaux était, par contre, supérieur aux autres techniques de préparations, qu'elles soient manuelles ou soniques.



Figure II.5 : Lime ultrasonore commercialisée par la société Satelec.

Les ultrasons trouvent une indication très intéressante en chirurgie endodontique. Ils sont utilisés en chirurgie apicale pour mettre en forme la cavité qui sera obturée a retro, après avoir réséqué l'extrémité radiculaire en rapport avec la lésion apicale. Il en existe plusieurs formes, plus en moins angulées, en fonction de la dent à laquelle on s'intéresse. (Fig. II.6 à II.8).

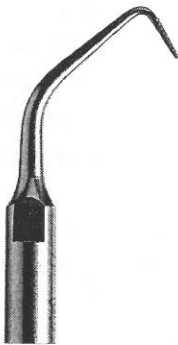


Fig. II.6



Fig. II.7

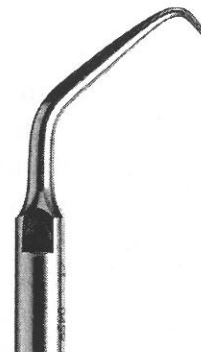


Fig. II.8

Figures II.6 à II.8 : Inserts pour la chirurgie endodontique commercialisés par la société Satelec.

II.6.3. EN ODONTOLOGIE CONSERVATRICE

Les ultrasons peuvent être utilisés dans le traitement des lésions proximales. En effet, l'utilisation d'instruments rotatifs sur turbine est responsable d'une altération des dents adjacentes dans 70 à 95% des cas, et contribue à l'initiation de caries adjacentes⁴⁶. De plus, l'utilisation d'un système permettant la mise en forme de la cavité tout en respectant les structures dentaires saines est non négligeable. Le premier système de mise en forme par sono-abrasion associé à deux techniques d'obturation de cavités proximales nous est proposé depuis quelques années⁷⁴ Il s'agit du système Sonicsys^R (Vivadent). Il se compose d'une pièce à main à fréquence sonore, le sonicflex^R fonctionnant sous pression d'air (3 bars) et sous spray continu. Sur cet instrument s'adaptent les inserts destinés à la mise en forme des cavités. Chaque insert est constitué d'une face non-travaillante, lisse plane ou légèrement convexe et d'une face travaillante diamantée. La vibration de cet insert à une fréquence définie explique le principe de la sono-abrasion. L'utilisation d'inserts diamantés permet la mise en forme ou la finition de la cavité (partie diamantée) sans aucun traumatisme de la dent adjacente (partie lisse).

En fonction de la forme et de la fonction des embouts ultrasonores, on distingue : le Sonicsys^R micro, le Sonicsys^R approx et le le Sonicsys^R prep (Fig. II.9)



Fig. II.9

Figure II.9 : Indication des différentes formes d'inserts en fonction du volume de la cavité

Le Sonicsys^R micro, composé de six inserts (Fig. II.10), permet l'accès à la lésion de la face proximale par un abord vestibulaire ou lingual sous le point de contact, en gardant intacte la crête marginale, ou occluso-cervical, dans le cas de lésions plus volumineuses.

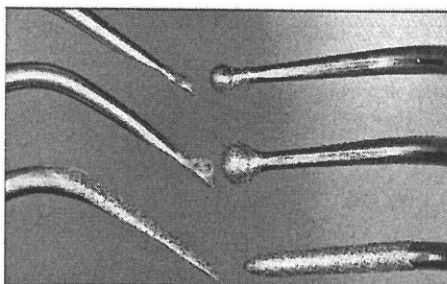


Fig. II.10

Figure II.10 : Différents inserts diamantés composant le système Sonicsys Micro, commercialisés par la société Kavo

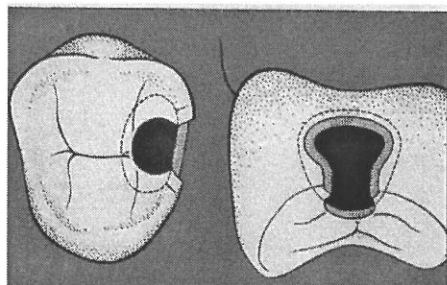


Fig. II.11

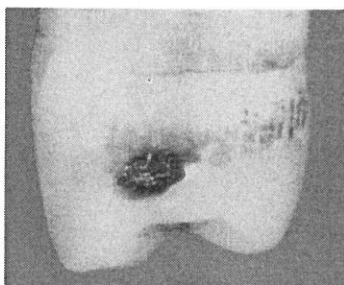


Fig. II.12

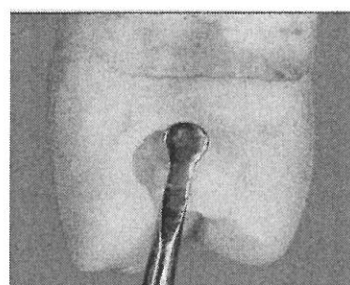


Fig. II.13

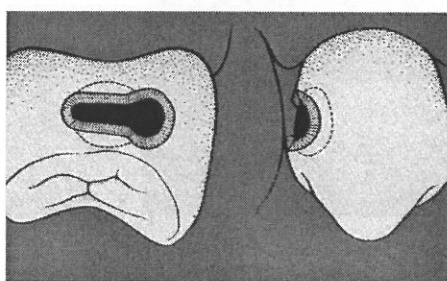


Fig. II.14



Fig. II.15

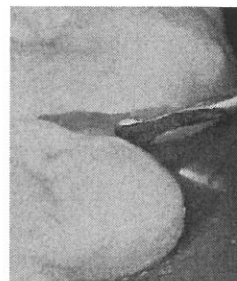


Fig. II.16

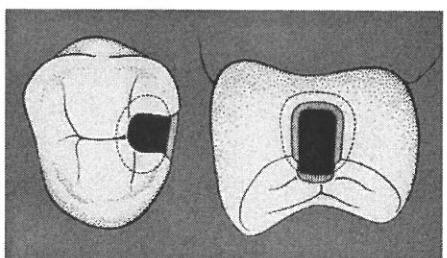


Fig II.17

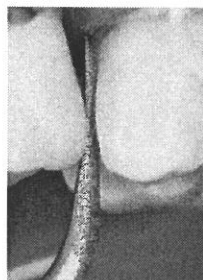


Fig II.18

Figures II.11 à II.18: Iconographie issue d'une documentation Kavo

Le choix de l'insert diamanté se fait en fonction de la taille de la lésion carieuse et de sa localisation.

- Le Sonicsysprep^R angle permet l'accès à la lésion de la face proximale par un abord occlusal, sans fragiliser la crête marginale et sans léser la dent adjacente et ce par tunnelisation. Deux inserts sont à notre disposition, ils sont coudés et ne sont pas diamantés sur leur extrémité qui est inactive. Ils sont recouverts, sur leur partie cylindrique, d'une couche de diamants de 46 μm . La cavité d'accès est préalablement préparée avec une instrumentation conventionnelle en préservant la crête marginale.
- Le Sonicsys approx⁴⁸ est un insert diamanté plus large qui permet la réalisation d'une cavité proximale dont les dimensions sont adaptées à un insert céramique qui viendra reconstituer la dent dans cette zone, et recréer un point de contact optimal (Fig. II.19 à II.21).

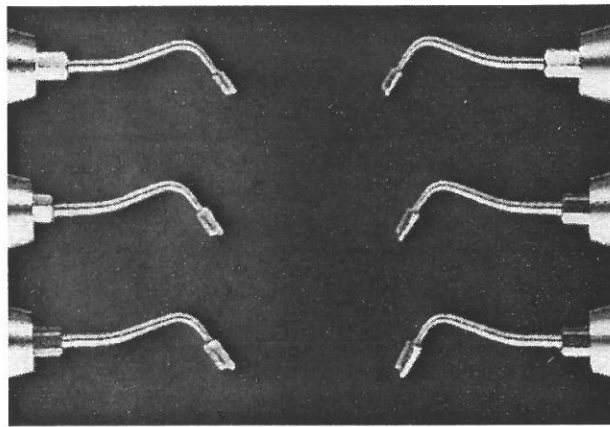


Fig. II.19

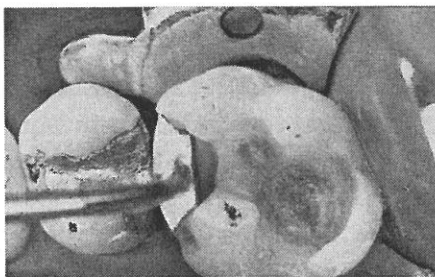


Fig. II.20

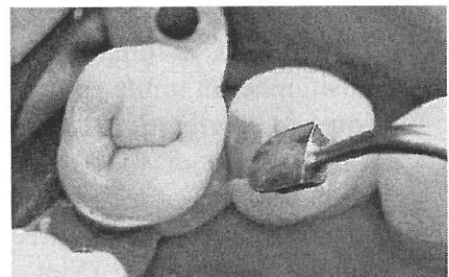


Fig. II.21

Figures II.19 à II.21: Iconographie issue d'une documentation Kavo.

Figure II.19 : Choix des inserts en fonction de la taille de la cavité.

Figures II.20 et II.21 : Préparation de la cavité proximale en utilisant le Sonicsys approx.

La force à exercer sur ce type d'insert est de l'ordre de 2 Newton pour qu'ils soient efficaces et pour ne pas étouffer les vibrations, ce qui aurait pour effet de diminuer l'effet de coupe.

La société EMS distribue également des inserts ultrasonores qui sont montés sur une pièce à main pour ultrasons dont le mouvement est animé par effet piezo-électrique. L'efficacité abrasive est améliorée, mais les vibrations sont plus importantes. La forme des inserts est différente de celle du système Sonicsys. Ils sont prévus pour un accès conventionnel par la crête marginale et sont utilisés, de part leur forme de dépouille, aussi bien pour des restaurations directes qu'indirectes.⁴⁶

II.6.4. EN PROTHESE

Mis à part leur utilisation pour le descellement des couronnes, la prothèse est certainement le domaine où les ultrasons comptent le moins d'application.

Ils ont connu depuis quelques années un nouvel essor dans le domaine des préparations. Les premiers auteurs à avoir parlé d'inserts diamantés utilisés pour finir les préparations sont Laufer, Pilo et Cardash en 1996. Ils ont comparé la rugosité d'épaulements finis à la fraise diamantée gros grains, grains fins et grains ultra-fins, à celle obtenue avec le même protocole, associé à un polissage avec des ciseaux à émail ou avec des inserts ultrasonores diamantés grains fins. Les dents ont été observées en Microscopie Electronique à Balayage afin d'en déduire une rugosité (Ra). Les résultats obtenues montrent qu'il n'y a aucune différences, en terme de rugosité, entre les épaulements réalisés avec les différentes granulométries de fraises. Il en est de même avec les ciseaux à émail, qui ne diminuent pas la rugosité. Par contre la rugosité après passage des inserts ultrasonores est augmentée, avec apparition de rainures profondes. L'article ne donne aucun renseignement, ni photographies sur les inserts diamantés.

Une étude clinique plus récente, effectuée par Massironi en 2001, montre clairement que des inserts ultrasonores diamantés, peuvent être utilisés pour finir et polir la ligne de finition.

Cet auteur a mis au point avec la société Komet Italie, des inserts ultrasonores diamantés dont la forme est identique à celle d'une fraise congé quart de rond cylindrique traditionnelle, en deux diamètres (0,16 et 0,18) et une seule granulométrie (100µm). A l'origine ces inserts devaient servir à polir la limite, mais il a montré qu'à hautes fréquences, ils étaient capables de repositionner la limite en position plus apicale. Le polissage est assuré selon lui en diminuant la fréquence de vibration. Les états de surface qu'il donne sont très bons puisqu'ils sont de l'ordre de 14,1 µm pour l'utilisation à hautes fréquences et de 9,7 µm pour l'utilisation à basses fréquences. Il est cependant difficile de pouvoir comparer ces valeurs à d'autres de la littérature, puisqu'il ne précise pas le paramètre de rugosité étudié : Ra, Rp, Rt ?. Il parle d'aspect moucheté de l'état de surface donné par ces inserts, favorisant selon lui la diffusion parfaite du ciment dans les anfractuosités et la notion de micro-clavetage. Il semble cependant que les grossissements qu'il présente, soient insuffisants pour se faire une véritable idée de l'état de surface ; de plus le grossissement semble intéresser une paroi latérale et non la ligne de finition.

Notre travail de recherche s'inscrit dans le prolongement de celui de Massironi. Notre projet est complémentaire, car il nous semble important d'avoir plus de certitudes quant à l'action abrasive de ces inserts, leur efficacité d'usinage, l'état de surface engendré par leur action, avant de pouvoir les utiliser en clinique sur les patients.

CHAPITRE III

MATERIEL ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

III.1. MATERIEL

III.1.1. La dent

III.1.2. Les fraises diamantées

III.1.2.1. Aspect en Microscopie Electronique à Balayage

III.1.2.2. Le diamantage

III.1.3. Les Ultrasons

III.1.3.1. Le générateur

III.1.3.2. Le transducteur

III.1.4. Les inserts diamantés

III.1.4.1. Description des différents inserts

III.1.4.2. Classification en fonction de la génération

III.1.4.3. Caractérisation physico-chimique des fraises et des inserts

- a) Masse moyenne
- b) Epaisseur des différents constituants
- d) Pourcentage relatif de liant nickel et de diamants.

III.1.5. Le dispositif mécanique d'usinage

III.1.5.1. Le dispositif statique

III.1.5.2. Le dispositif dynamique

III.1.6. Identification des modes d'usinage

III.1.6.1. La fraise diamantée

III.1.6.2. Les inserts

- a) Usinage dans du plâtre
 - Sur la machine
 - Le plâtre blanc
 - Le plâtre gris
 - Le plâtre rose
 - Manuellement
- b) Usinage sur du titane

III.2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

III.2.1. Préparation des dents naturelles

III.2.2. Usinage de la limite par les ultrasons

III.2.3. Notions de surface et d'état de surface

III.2.3.1. Observation des dents en Microscopie Electronique à Balayage

III.2.3.2. Reconstruction en 3 dimensions

III.2.3.3. Profilométrie mécanique et profilométrie sans contact

- a) Définition des termes de quantification de surfaces
- b) Mesures de profilométrie
 - Mécaniques
 - Sans contact
 - Dispositif et principes de la mesure
 - Paramètres mesurés
 - Appareillage utilisé
 - Illustration des reconstructions 3 D et mesures réalisées

Ce travail de recherche a été réalisé en collaboration avec la société Satelec, dont le siège se situe à Mérignac (Gironde). Cette société développe depuis de nombreuses années des inserts ultrasonores ainsi que des générateurs et des pièces à main. Elle était donc toute désignée, de part son expérience, pour nous accompagner tout au long de cette expérimentation.

III.1. MATERIEL

III.1.1. DENT

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé des dents naturelles fraîchement extraites, prémolaires ou molaires, conservées dans de l'hypochlorite de sodium.

Deux tissus sont concernés lors des préparations : l'émail et la dentine.

L'émail est un tissu fortement minéralisé qui recouvre la partie coronaire de la dent. Il est constitué à 96% d'éléments inorganiques (hydroxyapatite), la matrice organique variant entre 0,6 et 2 % (% massiques). Le reste est occupé par de l'eau liée et libre, ce qui lui permet de diffuser. Vu l'importance de la phase minérale, c'est le tissu le plus minéralisé de l'organisme et donc le plus dur, avec une dureté Vickers comprise entre 280 et 350 HV.

La dentine constitue la majeure partie de la dent. Elle est recouverte par l'émail au niveau de la couronne et par le cément au niveau de la racine. Elle est traversée sur toute son épaisseur par des tubuli qui occupent 10 à 30% de son volume et qui sont responsables de sa perméabilité. C'est un tissu moins minéralisé que l'émail. La phase inorganique ne représente que 70% et est constituée en majorité de cristaux d'hydroxyapatite, mais il existe d'autres formes cristallines comme des carbonates, des sulfates et des phosphates de calcium. La phase organique représente 20% , et est en majorité constituée par du collagène, qui va lui conférer une certaine élasticité. Les 10% restants sont occupés par de l'eau (% massiques). Du fait de sa structure moins minéralisée, la dentine est moins dure que l'émail, avec une dureté Vickers de l'ordre de 90 à 130 HV.



100 μ m

Compte tenu de la dureté respective des différents constituants (émail et dentine), lors de la préparation, l'émail est éliminé en utilisant des fraises diamantées bague verte, de forte granulométrie (100 μ m) afin de révéler la dentine. C'est sur ce tissu que seront réalisées nos expérimentations, que ce soit lors de l'étude de l'efficacité d'usinage des inserts, ou lors de l'étude de l'état de surface créé par cet usinage. La dentine étant plus tendre que l'émail, la précision de la préparation sera d'autant plus influencée par la perception tactile de l'opération effectuée par le chirurgien.

L'usinage par les Ultrasons devrait permettre une plus grande précision de la préparation grâce à un meilleur contrôle de la matière enlevée lors de l'usinage par rapport à ce que l'on peut obtenir avec une fraise montée sur une turbine travaillant à grande vitesse.

III.1.2. LES FRAISES DIAMANTEES ^{35, 83}

III.1.2.1. Aspect morphologique au Microscopie Electronique à Balayage

Ces préparations ont été réalisées à l'aide de fraises diamantées de profil congé quart de rond, montées sur turbine de type Komet.

Deux types de fraises ont été utilisées (Fig. III.1) :

- bague verte, diamètre 014 (réf 6881), pour réaliser la préparation,
- bague rouge, diamètre 014 (réf 8881), pour polir la préparation.



Figure III.1 : Fraises diamantées bague verte et rouge commercialisées par la société Komet

Si l'on se réfère aux informations données par la société Komet, les fraises bagues vertes présentent une granulométrie de 100 μm alors que les bagues rouges présentent une granulométrie de 30 μm .

Le diamantage s'effectue par électrodéposition, avec un taux de remplissage en cristaux de l'ordre de 60 %. Le mandrin est en acier inoxydable.

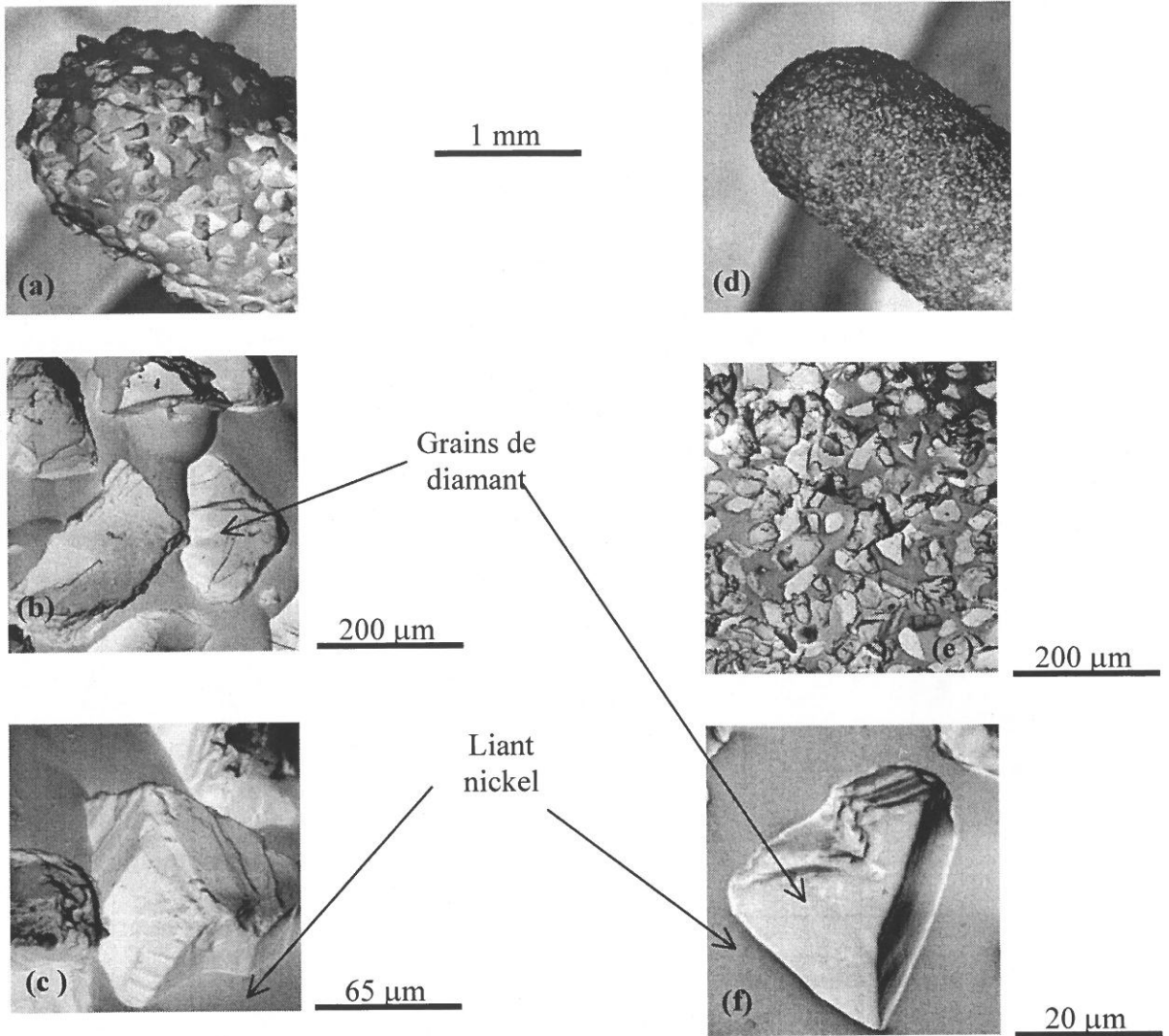


Figure III.2 : Etat initial des fraises diamantées : bagues vertes pour la préparation (a, b, c) et bagues rouges pour la finition(d, e, f)

III.1.2.2.Le diamantage.⁸³

Ces fraises sont constituées d'une âme métallique en acier inoxydable sur laquelle sont fixées, par l'intermédiaire d'un liant métallique (ici du nickel), des particules dures de diamants. La taille moyenne des grains de diamants varie entre 20 et 300 µm selon l'état de surface que l'on souhaite obtenir.

L'enrobage se fait dans un bain électrolytique contenant en suspension les grains de diamants. Ce procédé est relativement classique et ancien et est largement utilisé pour la fabrication de dispositifs d'usinage. Depuis quelques années, on cherche à remplacer le liant nickel qui pourrait, lors de l'utilisation de la fraise, libérer des ions Ni^{2+} dans la bouche du patient.

Pour cela des revêtements continu et dense par dépôt chimique en phase vapeur (DCPV) sont en cours d'évaluation (Figure III.3).

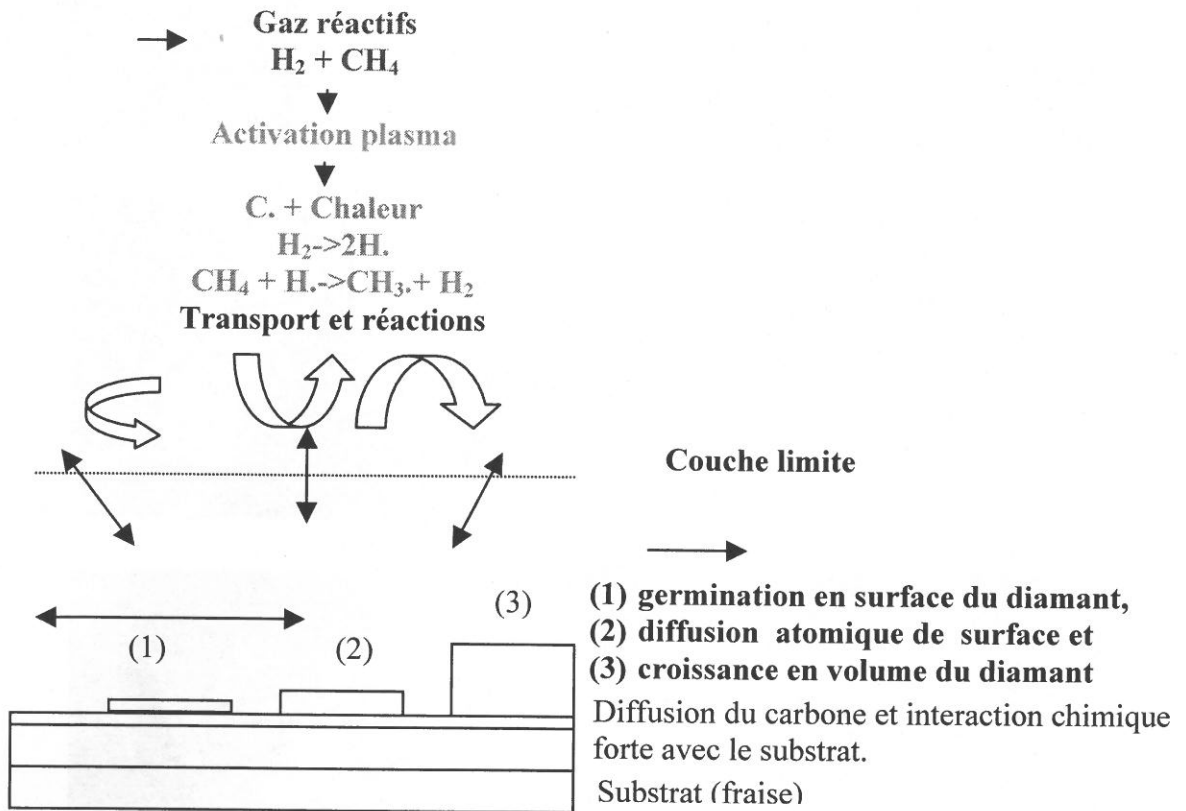
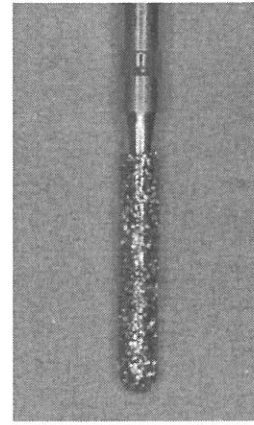
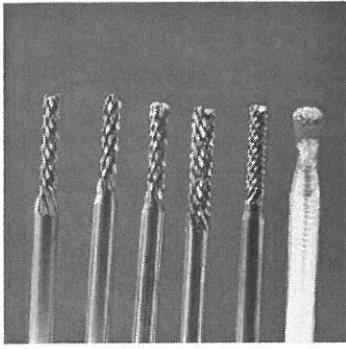


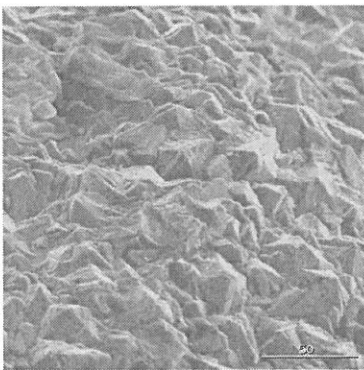
Figure III.3 : Schéma de principe du diamantage par dépôt chimique en phase vapeur (DCPV). L'utilisation du plasma permet de favoriser la décomposition du précurseur gazeux et permet de limiter la température du dépôt.

Le diamant est obtenu par condensation d'une phase carbonée (du méthane) sur un substrat chauffé à haute température (environ 1 000°C). La surface de la fraise ne contient pas de liant, lors du dépôt, il y a une interaction chimique entre le diamant et le support permettant ainsi d'assurer la liaison (Figure 3).

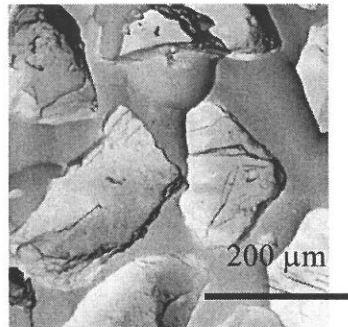


Diamantage par DCPV Document de :
<http://www.fapesp.br/tecnolog522.htm>

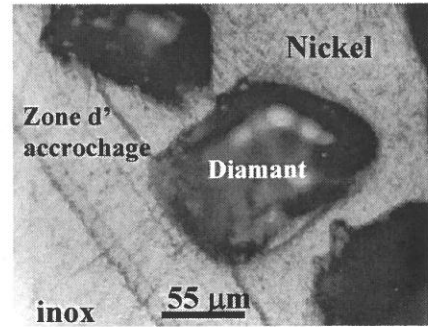
Diamantage électrochimique avec liant nickel (gros grains)



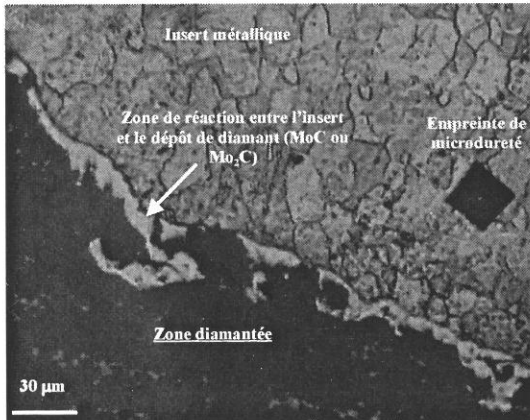
(a)



(c)



(d)



(b)

(a) et (b) : fraise diamantée par DCPV.
 (a) : vue de dessus ; (b) : interface substrat/dépôt.

(c) et (d) : fraise diamantée liant nickel.
 (c) : vue de dessus ; (d) : interface inox/dépôt

Détail de l'interaction chimique entre le support métallique de la fraise à base de molybdène et le diamant obtenu par DCPV. L'interaction chimique permet d'assurer la liaison entre l'outil et le revêtement de diamants.

Figures III.4 : Etudes comparatives des revêtements sur les fraises après diamantage par dépôt chimique en phase vapeur (figures a et b) et après diamantage électrochimique à base d'un liant nickel (figures c et d)

Le diamantage électrochimique présente cependant l'avantage d'avoir un meilleur contrôle de la taille des grains de diamants.

III.1.3. LES ULTRASONS

III.1.3.1. Le générateur

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé le générateur Suprasson P MAX (Fig. III.5), commercialisé par la société SATELEC. Ce générateur était équipé d'un module standard, avec lequel nous avons effectué nos premières expérimentations (étape de faisabilité) qui a été remplacé au cours de l'étude par un nouveau module, le module SP Newtron.

Ce générateur dernière génération, présente de nombreux avantages :

- maintien de la vibration à la fréquence de résonance même à très faible puissance. Ce générateur est le seul à abaisser autant le seuil de vibration à faible puissance,
- vibration constante quel que soit le support et l'angle d'attaque,
- capture de la fréquence de résonance immédiate, quelle que soit la charge et continue.



Figure III.5 : générateur Suprasson P Max

Ce générateur propose plusieurs modes de fonctionnement :

- mode détartrage (position S)
- mode parodontologie (position P)
- mode endodontie (position E)

Pour chacun des modes, on peut faire varier la puissance du générateur de 1 à 10. Nous avons travaillé en mode détartrage, à la puissance maximale.

III.1.3.2. Le transducteur

Le transducteur ou pièce à main (Fig. III.6) utilise la technologie piezoélectrique, qui a un meilleur rendement que la magnétostriction. Il transforme le signal électrique qu'il reçoit du générateur en vibrations mécaniques qu'il transmet à l'insert⁹⁵. Il est constitué de quatre pastilles de céramiques qui se déforment sous l'effet d'un champ électrique. Ils émettent ainsi des déformations axiales qui sont transmises aux inserts.

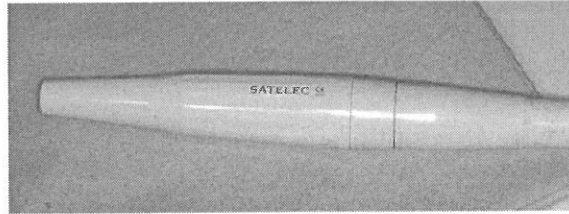


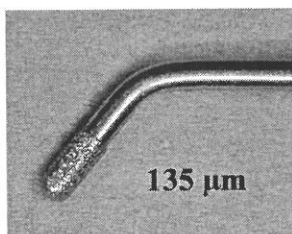
Figure III.6 : transducteur

III.1.4. LES INSERTS DIAMANTES

III.1.4.1. Description des différents inserts

Les premiers inserts diamantés ou inserts de 1^{ère} génération (Fig. III.7 à III.9), ont été développés en collaboration avec la société SATELEC, selon un cahier des charges précis :

- profil de l'instrument et en particulier diamètre et extrémité de forme identique à celle d'une fraise diamantée, congé quart de rond ou épaulement angle interne arrondi,
- vibration suffisante pour permettre d'usiner la dentine,
- forme de l'insert compatible avec une utilisation ergonomique lors de la préparation des dents,
- utilisation de plusieurs types de grains permettant d'usiner mais également de polir.



Insert 1^{ère} génération
Gros grains
Figure III.7

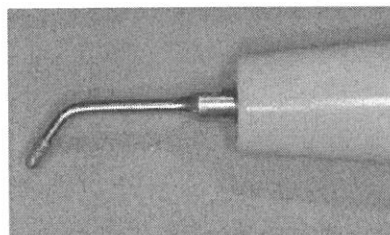
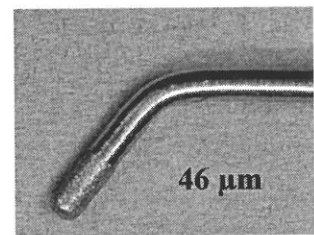


Figure III.8



Insert 1^{ère} génération
Grains fins
Figure III.9

La deuxième forme d'insert ou insert de 2^{ème} génération (Fig. III 11à III.13), a, quant à elle, été développée en partant d'une forme d'insert déjà utilisée en Parodontologie ayant fait ses preuves dans le domaine de la vibration, l'insert Twiny (Fig. III 10).

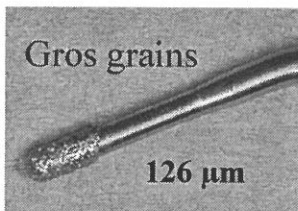
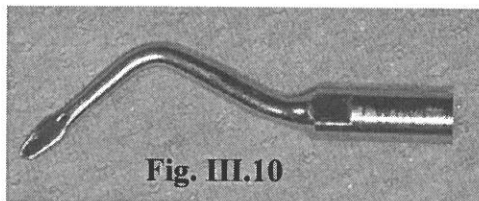


Fig. III.11

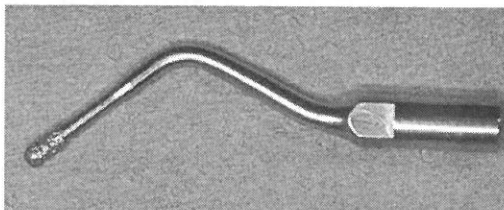


Fig. III.12

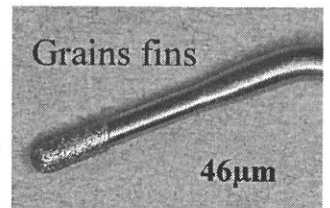


Fig. III.13

Figure III.10 : Insert Twiny

Figure III.11 : Extrémité de l'Insert de 1^{ère} génération court gros grains

Figure III.12 : Insert de 1^{ère} génération court gros grains dans son ensemble

Figure III.13 : Extrémité de l'Insert de 1^{ère} génération court grains fins

III.1.4.2. Références des différents inserts

Au cours de l'étude, nous avons été conduits à modifier la forme des inserts et la longueur de diamantage pour faire varier l'amplitude de la vibration (Tableau 1).

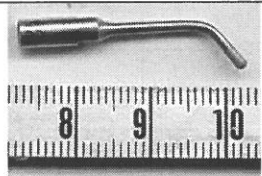

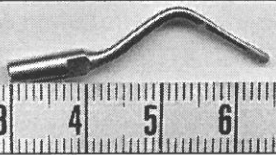



Type d'insert	Illustration	Caractéristiques	Référence
1 ^{ère} génération gros grains		Taille moyenne des grains de diamants : 135 µm Hauteur de diamantage : 3 mm	1 ^{ère} G GG
1 ^{ère} génération grains fins		Taille moyenne des grains de diamants : 50 µm Hauteur de diamantage : 3 mm	1 ^{ère} G.GF
2 ^{ème} génération, court gros grains		Taille moyenne des grains de diamants : 126 µm Hauteur de diamantage : 4 mm	2 ^{ème} GC.GG
2 ^{ème} génération, long gros grains		Taille moyenne des grains de diamants : 126 µm Hauteur de diamantage : 8 mm	2 ^{ème} GL.GG
2 ^{ème} génération, court grains fins		Taille moyenne des grains de diamants : 46 µm Hauteur de diamantage : 4 mm	2 ^{ème} GC.GF
2 ^{ème} génération, long grains fins		Taille moyenne des grains de diamants : 46 µm Hauteur de diamantage : 8 mm	2 ^{ème} GL.GF

Tableau III 1 : Références et caractéristiques des inserts diamantés utilisés dans le cadre de cette étude.

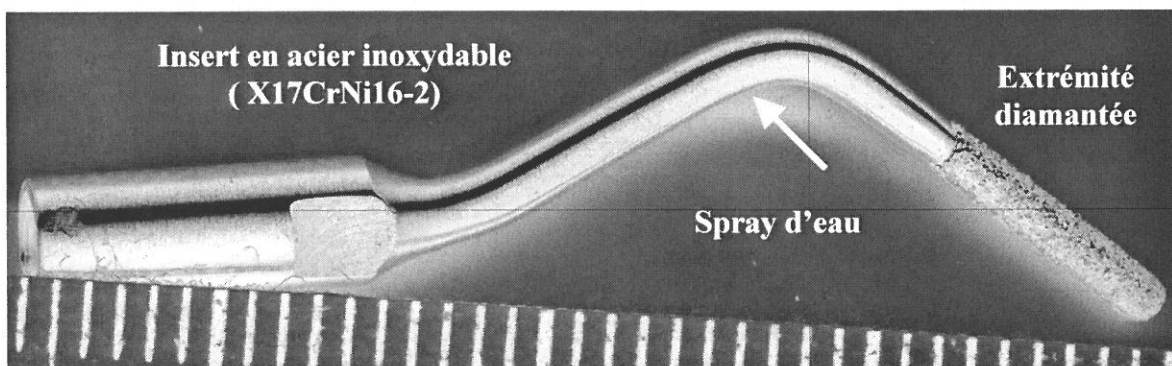


Figure III.14 : Détails d'un insert de 2^{ème} génération, long et gros grains (2^{ème} GL GG) (X4)

III.1.4.3. Caractérisations physico-chimiques des fraises et des inserts

a) Masse moyenne

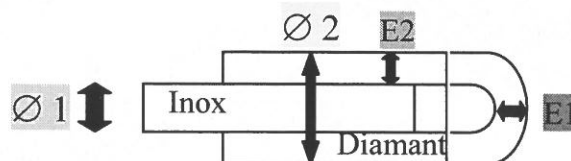
Insert ou fraise	Référence	Masse (g)
Fraise Bague rouge (grains moyen)	FBR GM	0.2910
Fraise Bague verte (gros grains)	FBV GG	0.2772
1 ^{ère} génération gros grains	1 ^{ère} G.GG	0.8885
1 ^{ère} génération grains fins	1 ^{ère} G.GF	0.8699
2 ^{ème} génération court gros grains	2 ^{ème} GC.GG	1.0118
2 ^{ème} génération long gros grains	2 ^{ème} GL.GG	1.0436
2 ^{ème} génération court grains fins	2 ^{ème} GC.GF	1.0088
2 ^{ème} génération long grains fins	2 ^{ème} GL.GF	1.0160

Tableau III.2 : Masse moyenne des inserts et des fraises diamantés

b) Epaisseur des différents constituants

Pour faire ce calcul, nous avons mesuré le diamètre des deux inserts sur la partie inox et sur la partie diamantée, puis nous les avons enrobés dans de la résine. Nous avons poli des échantillons avec du papier abrasif, jusqu'à la moitié de nos inserts.

Les échantillons ainsi préparés ont été observés au microscope optique à un grossissement X5. Nous avons pu ainsi mesurer le diamètre global de l'insert en déterminant la part qui revenait à l'inox et celle qui revenait aux diamants.



Coupe schématique d'un insert

Référence des inserts :	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)
2 ^{ème} génération court gros grains 2 ^{ème} GC GG	1.25	1.48	0.14	0.14
2 ^{ème} génération,court grains fins 2 ^{ème} GC GF	1.25	1.40	0.08	0.08

Tableau III.3 : Epaisseurs des différents constituants

Nous constatons que les diamètres d'inox sont identiques d'un insert à l'autre. L'épaisseur de diamants est par contre plus importante pour les gros grains que pour les grains fins, mais elle reste uniforme sur l'ensemble de l'insert.

c) Pourcentages relatifs de liant nickel et de diamants

La mesure de la quantité de diamant a pu se faire grâce au microscope électronique à balayage (MEB). Pour connaître le pourcentage relatif de liant et de diamants, nous avons procédé par analyse d'images sur des photographies MEB prises toutes au même grossissement. Nous avons travaillé sur deux zones de l'insert, en délimitant une surface sur la photographie qui est de 98 centimètres carrés.

Les résultats sont exprimés en pourcentages.

Noms des inserts	Surface du liant	Surface du diamant
Fraise Bague rouge (grains fins), FBR GF	42 +/- 1%	58 +/- 1%
Fraise Bague verte (gros grains), FBV GG	57 +/- 2%	43 +/- 2%
1 ^{ère} génération, gros grains, 1 ^{ère} G.GG	61 +/- 2%	39 +/- 2%
1 ^{ère} génération, grains fins, 1 ^{ère} G.GF	62 +/- 6%	38 +/- 6%
2 ^{ème} génération, long, gros grains, 2 ^{ème} GL GG	65 +/- 3%	35 +/- 3%
2 ^{ème} génération, long, grains fins, 2 ^{ème} GL GF	63 +/- 2%	36 +/- 2%

Tableau III.4 : pourcentages relatifs de liant nickel et de diamants

Nous constatons :

- que les surfaces de diamants sont plus importantes pour les fraises que pour les inserts,
- qu'il y a plus de diamants sur la fraise gros grains que sur la fraise grains fins, contrairement aux inserts où les quantités de diamants sont à peu près identiques entre les deux types de grains,
- que les quantités sont homogènes entre les nouvelles et les anciennes générations d'inserts.

III.1.5. LE DISPOSITIF MECANIQUE D'USINAGE

Les expérimentations réalisées à la main permettent d'avoir une idée de l'action des inserts dans des conditions cliniques, mais restent aléatoires si l'on veut les comparer de manière scientifique, c'est-à-dire sous pression constante, avec un déplacement identique en vitesse et en amplitude.

C'est la raison pour laquelle nous avons développé une machine permettant de réaliser des expérimentations de manière systématique. Nous avons été amenés à réaliser deux dispositifs : un statique, l'autre dynamique.

III.1.5.1. Dispositif statique

C'est grâce à ce dispositif, que nous avons étudié l'enfoncement de l'insert ultrasonore en fonction de la masse appliquée sur le transducteur (Figure III.15)

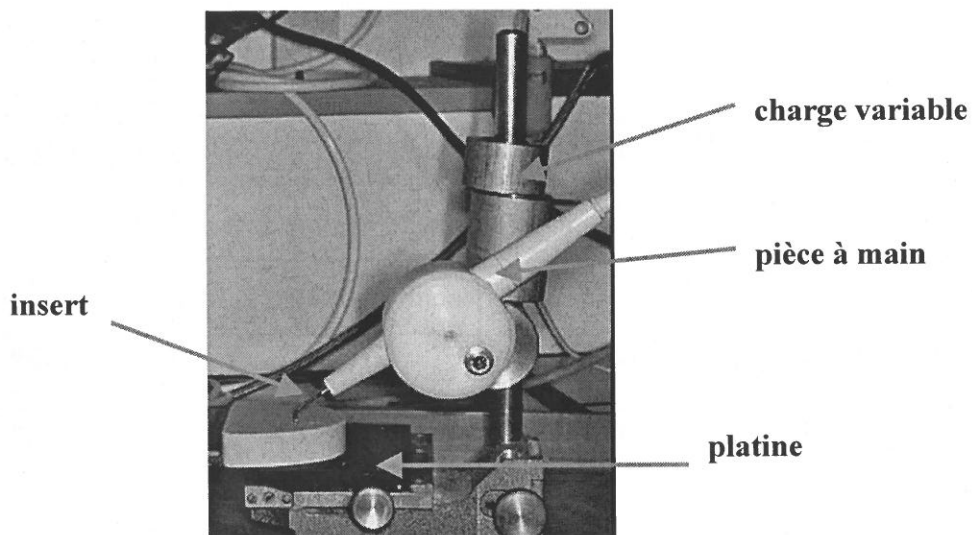


Figure III.15 : Détails de la machine de première génération

III.1.5.2. Dispositif dynamique

C'est grâce à ce dispositif que nous avons pu nous rapprocher des conditions cliniques. A son niveau, l'insert ultrasonore pouvait se déplacer selon un mouvement de va-et-vient d'amplitude déterminée, sous une charge constante (Figure III.16).

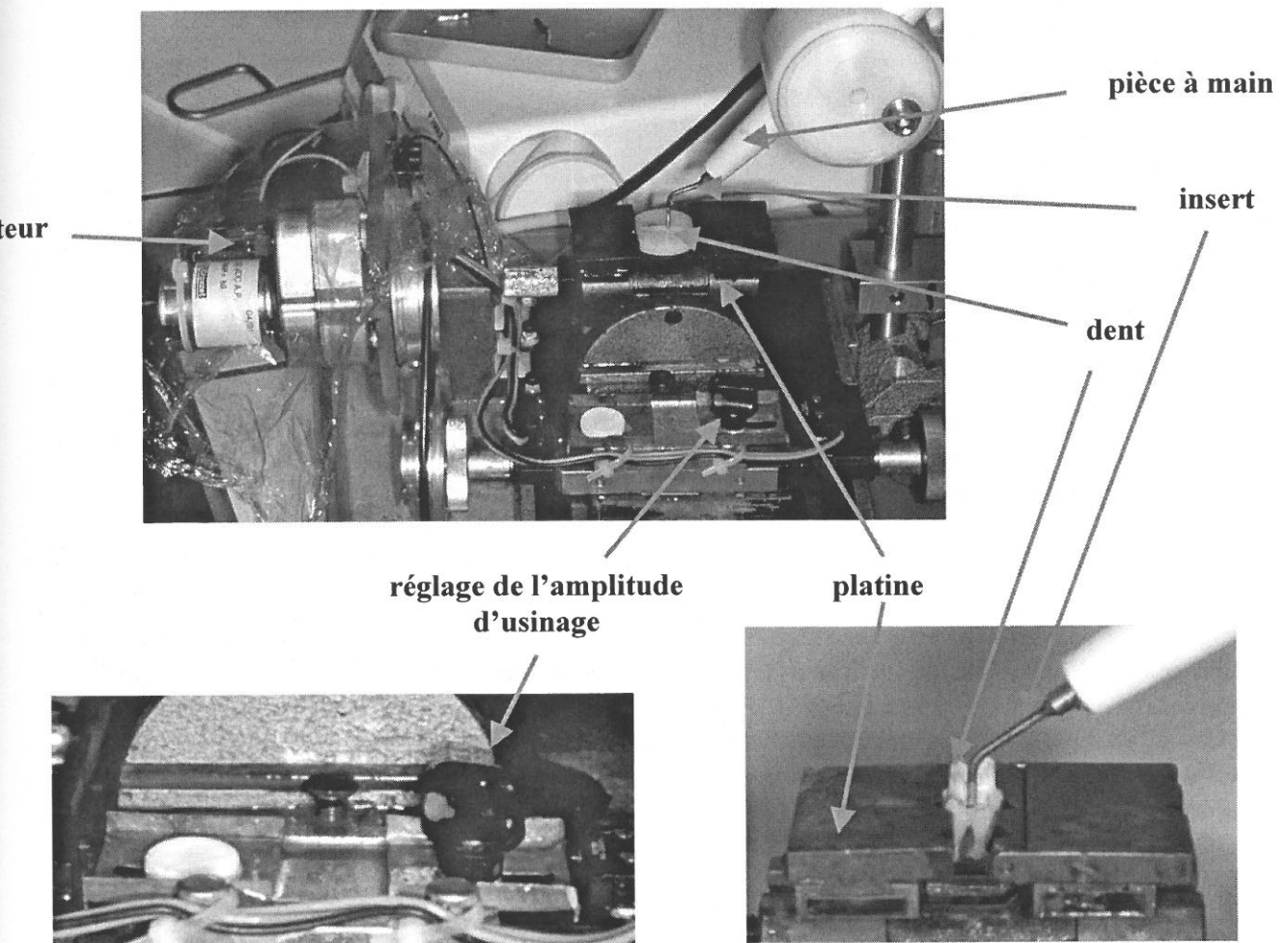


Figure III.16 : Détails de la machine de deuxième génération

Ce dispositif est composé d'un moteur actionnant des poulies, qui permettent de mettre en mouvement une platine. Le déplacement de cette dernière est contrôlé par deux contacteurs, qui permettent d'inverser le sens du déplacement.

Un étau, relié à la platine, permet de fixer l'échantillon qui sera usiné (Fig. III.17 et 18).

Près de la platine se trouve un bras constitué de deux colonnes, autour desquelles coulisse le support de la pièce à main. Ce support est orientable, ce qui permet de modifier l'angle d'attaque de l'insert sur l'objet à usiner. La pièce à main vient se bloquer en friction. Ce support présente latéralement un bras, sur lequel on pourra mettre des charges de poids différents.

Cette machine permet d'usiner des échantillons pendant un temps donné, sous une pression donnée, pour une amplitude de déplacement définie et constante. Elle permet donc une comparaison objective des échantillons.

Toutes les expérimentations ont été réalisées sous spray d'eau.

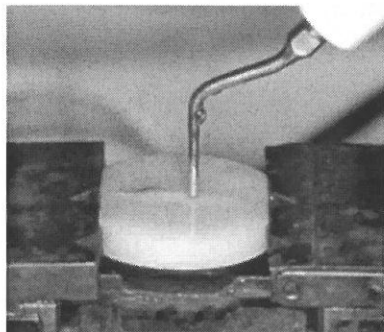


Figure III.17

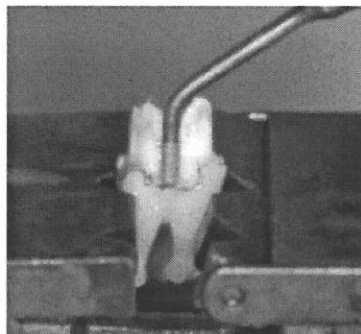


Figure III.18

Figures III.17 et III.18 : Positionnement des échantillons sur la platine

Fig. III.17 : Prémolaire incluse dans un bloc de résine. Ce bloc est ensuite travaillé avec des disques abrasifs de manière à obtenir une surface plane sur laquelle on puisse usiner. Il est ensuite poli avec des disques de granulométrie de plus en plus fine, puis retaillé sur les cotés de manière à pouvoir être positionné correctement sur la platine. C'est ce type de montage qui a été retenu pour étudier l'état de surface des rainures obtenues après usinage.

Fig. III.18 : Molaire mandibulaire positionnée sur la platine, à laquelle on impose un mouvement de va-et-vient d'amplitude déterminée, de l'ordre de 3 à 4 mm. C'est ce type de montage qui a été retenu pour étudier l'efficacité d'usinage des différents inserts diamantés.

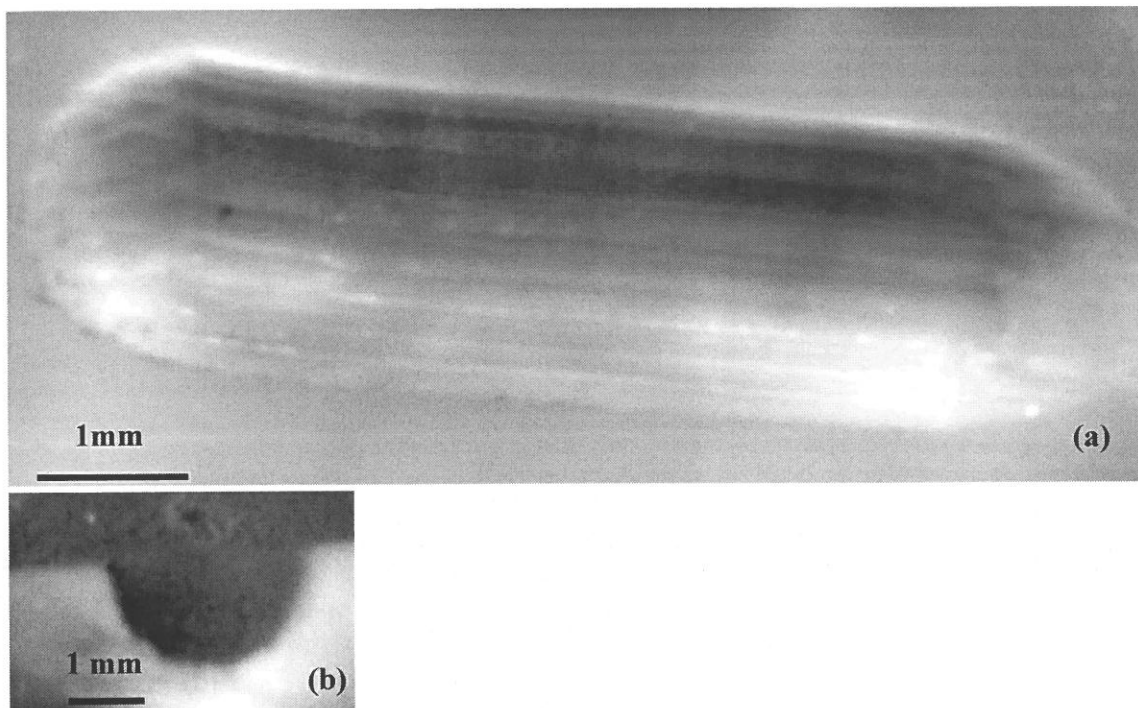


Figure III.19 : Illustration de l'usinage de la dentine en automatique, en utilisant le montage décrit sur la figure III.17, après 10 cycles de va-et-vient. La vue de dessus (a) permet de contrôler l'amplitude du va-et-vient. Cet échantillon sera utilisé pour déterminer la rugosité en fond de rainure. La coupe en section (b) permet de mesurer la largeur ainsi que la profondeur en fonction de l'insert ou des conditions d'usinage. Sur la figure III.19 (a), on observe en fond de rainure les sillons laissés par le passage des grains de diamants.

III.1.6. IDENTIFICATION DES MODES D'USINAGE

Compte tenu de la vitesse de rotation de la fraise (300 000 t/mn) ou de la fréquence de vibration de l'insert (25 000 htz), il est difficile de visualiser le déplacement de l'outil, pour cela, nous avons observé les conséquences de l'usinage sur des matériaux de différentes duretés ou textures (dentine, plâtre de dureté variable, alliage de titane).

III.1.6.1. La fraise

Si l'on considère le plancher ou partie horizontale de l'épaulement, le mouvement de la fraise en rotation laisse des empreintes très caractéristiques qui ont déjà été décrites par Comte en 1983. Après usinage, la fraise laisse sur la dentine des empreintes circulaires, sous forme de stries régulièrement disposées, qui se superposent et dont la profondeur ou rugosité et l'espacement dépendent de la taille des grains de diamants (bague rouge ou bague verte) et de la pression exercée par le praticien. (Figure III.20 (a) et (b)).

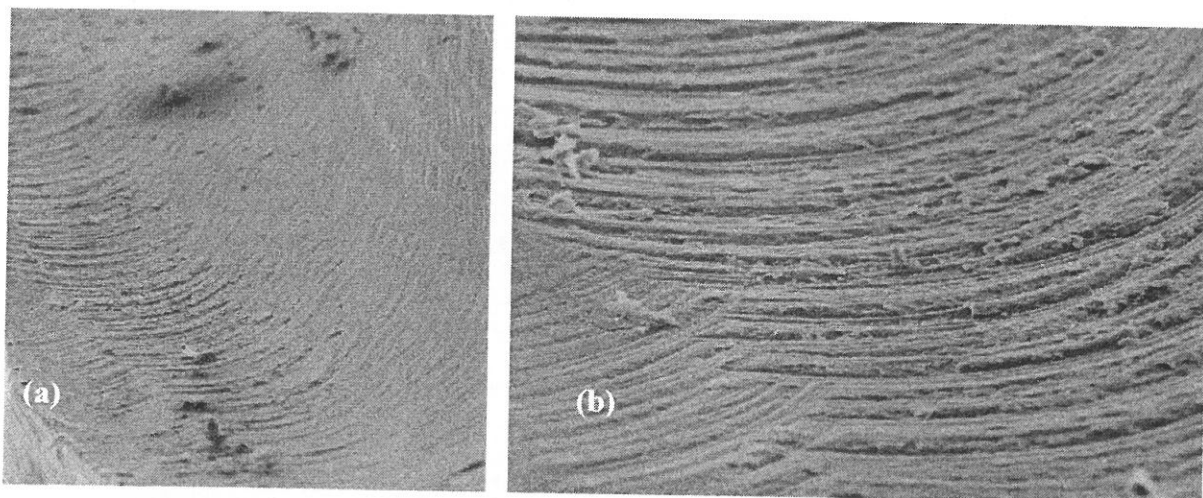


Figure III.20 : (a) Surface de la dentine après usinage avec une fraise bague verte puis rouge. (b) détails de la zone.

III.1.6.2. Les inserts

Dans le cas des inserts ultrasonores diamantés, il est difficile d'identifier les modes de vibration. Nous avons tenté d'approcher ce phénomène en observant comment les inserts se comportaient sur différents matériaux.

a) Usinage dans du plâtre

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur des plâtres de différentes duretés :

- Le plâtre blanc (25kg/cm^2), le plus tendre (Fig. III.20).
- Le plâtre gris (130kg/cm^2) (Fig. III.21).
- Le plâtre rose (475 kg/cm^2), le plus dur (Fig. III.22).

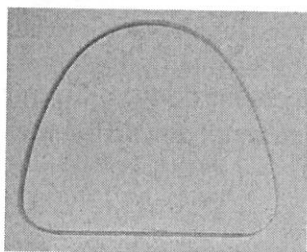


Figure III.21
Plâtre blanc

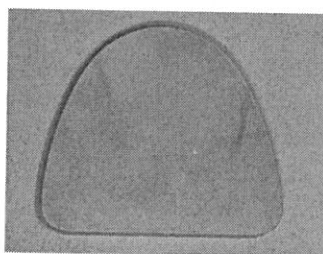


Figure III.22
Plâtre gris

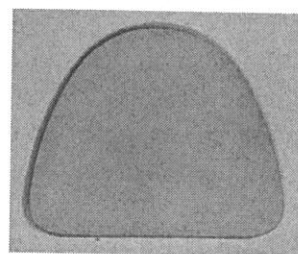


Figure III.23
Plâtre rose

➤ **Sur la machine**

Les essais ont été réalisés en statique (machine de première génération) avec une charge de 160 gr appliquée sur le transducteur et pendant 20 secondes. Nous espérons que ce support soit suffisamment malléable pour permettre à l'insert de travailler et de supprimer de la matière dans le sens de sa propre vibration.

➤ **Manuellement**

Nous avons également étudié l'efficacité des inserts dans du plâtre en mode manuel comme le ferait le praticien sur une dent. Cinq impacts sont réalisés en utilisant le même insert et en lui imprimant des pressions manuelles dans différentes directions pendant 5 secondes (Fig. III.24 et 25).

Le premier impact se fait en exerçant une pression axiale (a).

Le deuxième impact consiste à exercer une pression vers l'avant, après avoir enfoncé la pointe de l'insert de 1 mm dans le plâtre (b).

Le troisième impact consiste à exercer une traction sur l'insert après l'avoir enfoncé de 1mm dans le plâtre (c).

Le quatrième impact consiste à exercer une pression sur l'insert vers la droite, après l'avoir enfoncé de 1 mm dans le plâtre (d).

Le cinquième impact consiste à exercer une pression sur l'insert vers la gauche, après l'avoir enfoncé de 1mm dans le plâtre (e).

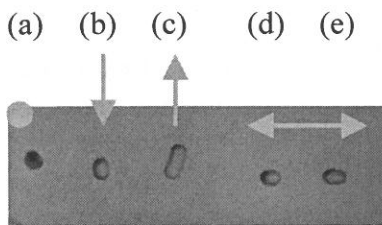


Figure III.24

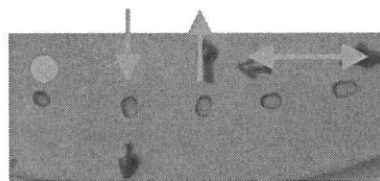


Figure III.25

Figure III.24 : Empreintes laissées par les Inserts de 1^{ère} génération

Figure III.25 : Empreintes laissées par les Inserts de 2^{ème} génération

b) Usinage sur du titane.

Pour compléter ces expérimentations dans le plâtre, nous avons laissé vibrer librement (sans charge) un insert de 1^{ère} génération gros grains à la surface d'un échantillon dur d'alliage de titane (Figure III.26).

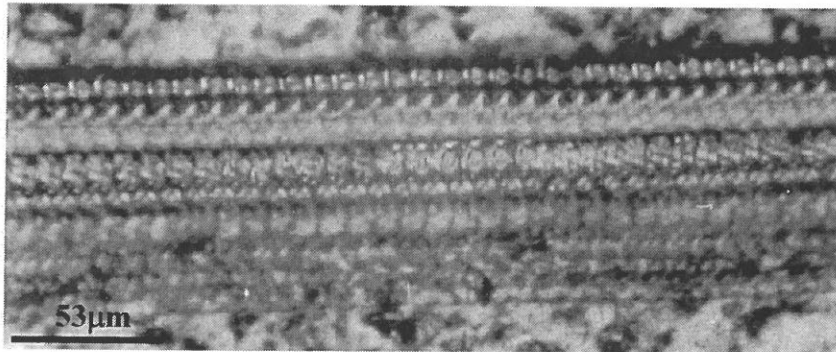


Figure III.26 : Illustration de l'empreinte de surface laissée par un insert de l'ancienne génération sur un matériau dur

III.2. PROCEDURES EXPERIMENTALES

III.2.1. PREPARATION DES DENTS NATURELLES

La première partie de l'étude a consisté à préparer des dents naturelles, en utilisant des fraises diamantées bagues vertes montées sur turbine.

Deux types de préparation ont été réalisés, en fonction de la suite donnée à l'expérimentation :

- (1) Si le réaménagement par les ultrasons de la ligne de finition obtenue par la fraise était réalisé manuellement par un opérateur, la préparation se faisait en respectant les critères de préparation, en particulier pénétration contrôlée (Fig. III .27), qui permet de définir une ligne de finition en rapport avec le profil de la fraise, dans notre cas, congé quart de rond.

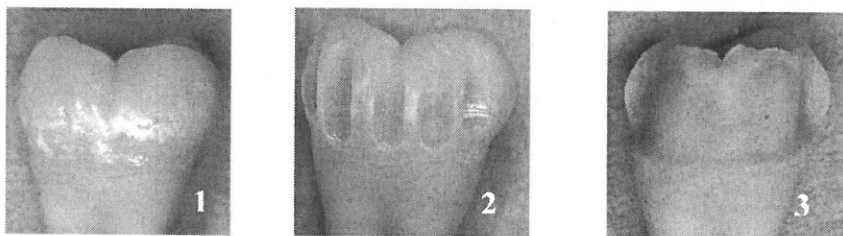


Figure III.27 : Illustration de la technique de pénétration contrôlée

Cette préparation n'intéressait que les faces axiales, sur le pourtour ou simplement la moitié de la dent.

Certaines préparations étaient polies en utilisant des fraises de même profil, mais de granulométrie plus fine, bague rouge.

Sur ces préparations, des rainures de contrôle étaient réalisées au disque diamanté, au dessus de la ligne de finition, de manière à pouvoir mesurer la quantité de matière enlevée par usinage.

La distance d entre la limite et la rainure était mesurée et les dents étaient photographiées à l'aide d'un objectif macro (Fig. III.28).

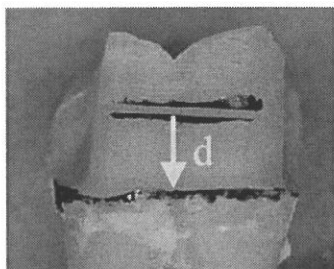


Figure III.28 : Aspect de la dent en macrophotographie, après préparation et réalisation de la rainure

- (2) Si le réaménagement par les ultrasons de la ligne de finition obtenue par la fraise était réalisé en utilisant la machine, les préparations nécessitaient une ligne de finition beaucoup plus large du fait du mouvement rectiligne imprimé par la machine.

Dans ce cas, le reste d'émail de la face occlusale était supprimé à l'aide d'un disque diamanté (Fig. III.29).

La distance d entre la limite et la face occlusale était mesurée et les dents étaient photographiées à l'aide d'un objectif macro.

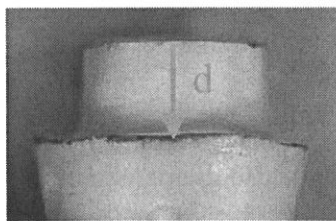


Figure III.29 : Aspect de la dent en macrophotographie, après préparation et suppression de la face occlusale

III.2.2. USINAGE DE LA LIMITE PAR LES ULTRASONS

Les limites précédemment obtenues avec les fraises diamantées, sont aménagées avec les inserts diamantés.

Cet usinage peut être fait manuellement par un opérateur, dans des conditions cliniques ou en utilisant la machine de manière à obtenir un usinage dans des conditions reproductibles et comparables.

Le but de cet aménagement est d'amener la ligne de finition en position plus apicale.

Plusieurs types d'inserts sont utilisés, de forme et de granulométrie différentes, ce qui permet de mettre en évidence l'influence que peuvent avoir ces deux paramètres sur l'usinage. Les dents sont photographiées ou observées au microscope électronique à balayage après usinage, de manière à visualiser le travail de l'insert. La distance d' , entre la nouvelle limite et la rainure est mesurée. La différence $d - d'$ donne des renseignements sur la quantité de matière enlevée par les inserts et donc sur leur efficacité (Figure III.30).

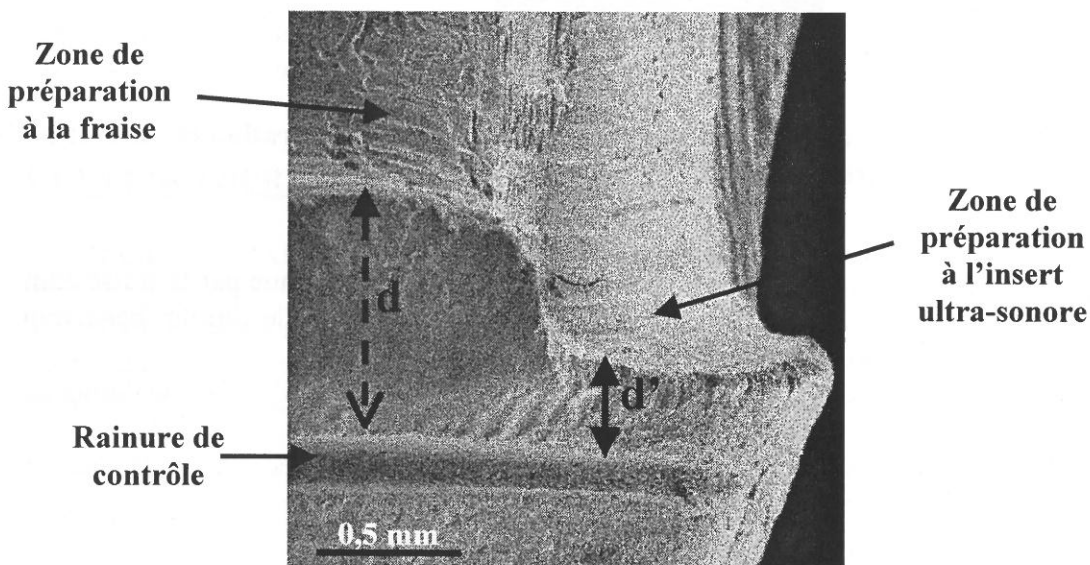
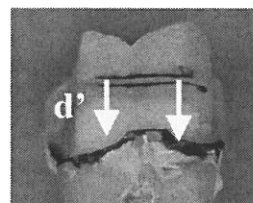
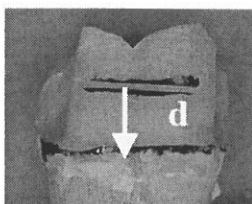


Figure III.30 : Aménagement de la limite sur une prémolaire (microscopie électronique à balayage)

Ces mesures peuvent être réalisées directement sur les dents

Après préparation de la dent à la fraise diamantée et mesure de la distance d , entre la ligne de finition et une rainure réalisée sur la paroi axiale, la limite est aménagée par les ultrasons, en prenant soins de ne pas usiner la zone centrale obtenue à la fraise.

Les distances d' et d'' sont mesurées. La différence $d' - d$ ou $d'' - d$ renseigne sur la quantité de matière enlevée par les ultrasons.



III.2.3. NOTION DE SURFACE ET D'ETAT DE SURFACE

On définit une surface, comme la limite entre deux milieux : l'un solide et l'autre liquide ou gazeux⁵⁶

Le terme état de surface englobe :

- d'une part, l'état géométrique de la surface et en particulier, les écarts géométriques d'une pièce réalisée en fabrication par rapport à celle géométriquement idéale,
- d'autre part, l'état physico-chimique de la surface, en particulier la nature de la couche superficielle de la pièce.

Dans notre étude, nous ne nous intéresserons qu'à l'état géométrique de la surface. L'état de surface de nos préparations en prothèse conjointe, est « la nature des reliefs et des rugosités des tissus dentaires (ou des matériaux de reconstitutions coronaires) en contact avec l'artifice prothétique »⁵⁶

Il existe différents procédés d'investigation pour savoir si une surface est lisse ou si elle est plus ou moins rugueuse. Cela peut aller du toucher ou du simple examen visuel, jusqu'à l'observation en microscopie optique, voire microscopie électronique à balayage. Ces études aussi précises soient elles, ne donneront que des informations qualitatives. Si l'on veut obtenir des renseignements sur le plan quantitatif, il faut réaliser une véritable étude statistique des défauts de surface, en particulier par l'examen des coupes de surface. Cette étude est possible en utilisant un profilomètre.

III.2.3.1. Observation des dents en MEB.

Les observations au microscope électronique à balayage (M.E.B.), viennent en complément des macrophotographies. Elles permettent de révéler et de comparer les différents états de surface et indirectement d'accéder à la rugosité de la surface usinée (Figure 14).

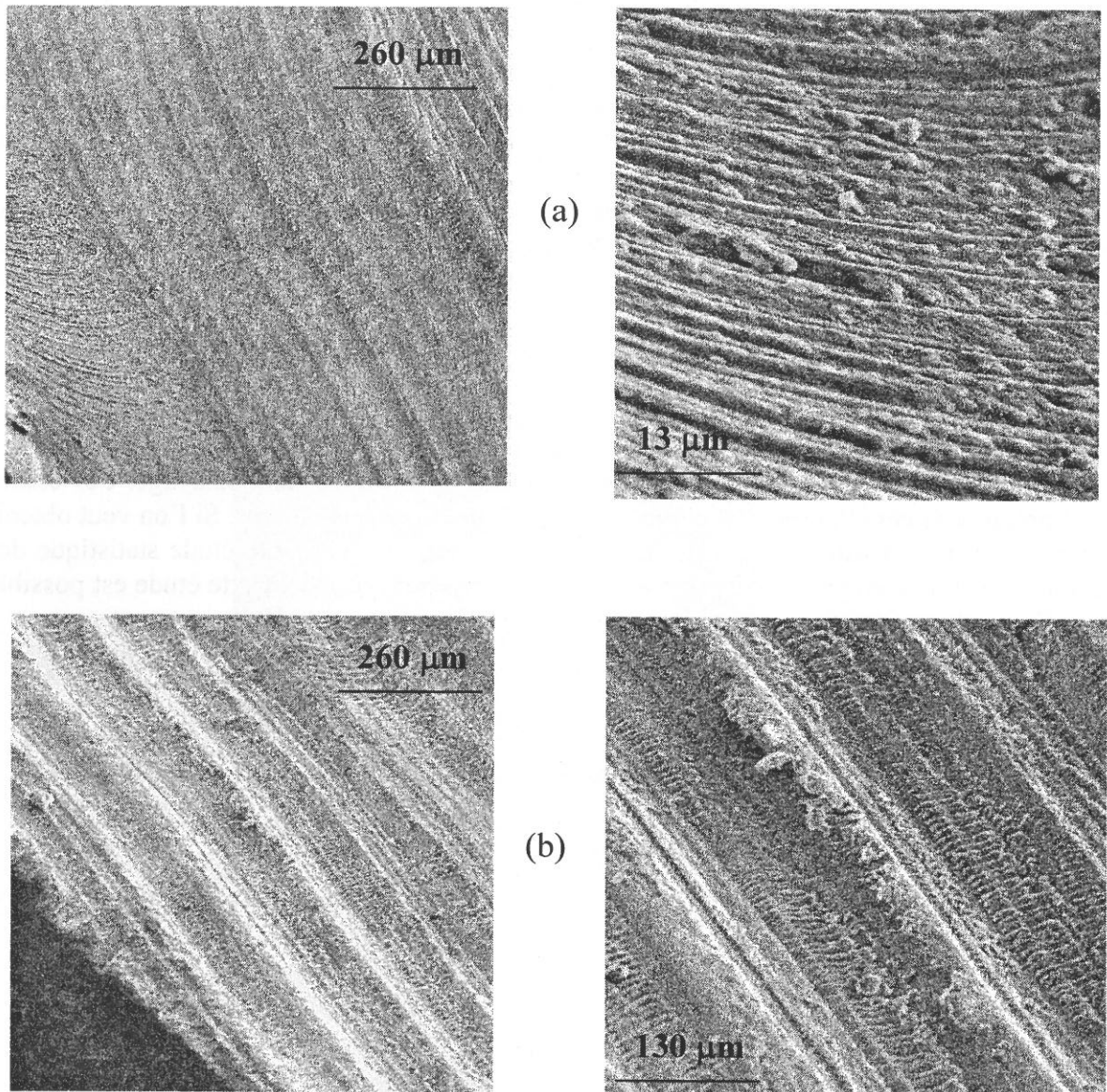


Figure III.31 : Etudes comparatives des états de surface sur une prémolaire (a) préparation à la fraise (bague verte + bague rouge (grains fins)) et (b) préparation avec un insert ultrasonore de 2^{ème} génération (gros grains)

Les informations issues de ces observations sont comparatives et non quantifiables : les préparations à la fraise ont un état de surface plus « lisse » (figure III.31 a) que les préparations avec l'insert (Figure III.31 b).

III.2.3.2. Reconstruction en 3 Dimensions

La microscopie électronique à balayage permet d'étudier la nature et la topographie des surfaces. Cependant les images en deux dimensions ne sont pas représentatives de la surface réelle, du fait de la perte d'information sur la profondeur. C'est la raison pour laquelle des reconstructions en 3 dimensions sont réalisées à partir des images de microscopie et permettent de préciser l'état de surface obtenue par les inserts.

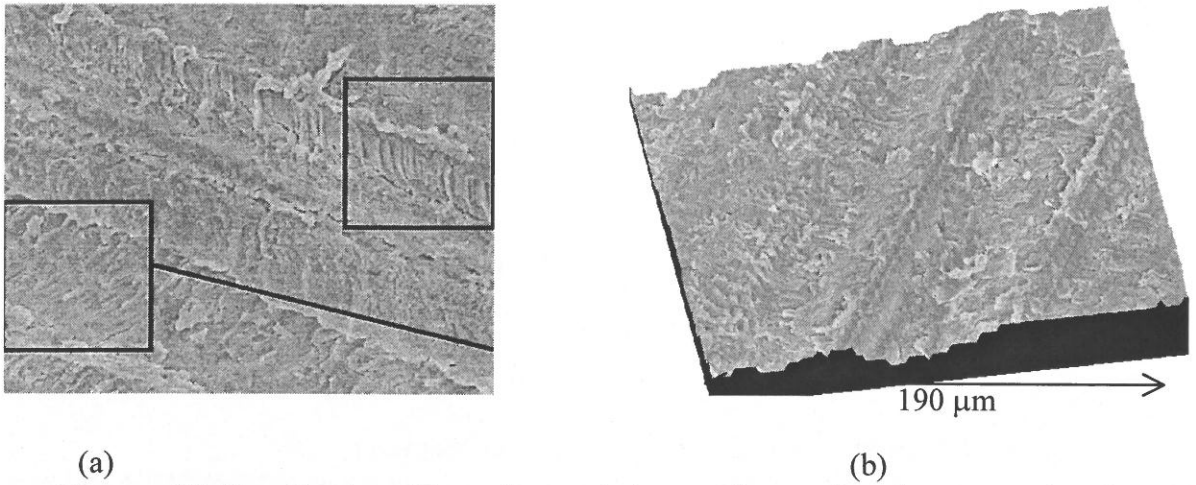
L'analyse numérique se scinde en deux étapes successives :

- La stéréophotogrammétrie numérique reconstruit les images acquises au MEB en images en trois dimensions.
- La topographie numérique traite les images en trois dimensions afin d'en extraire des informations quantitatives, tels que le volume et la surface de la zone usinée ou un profil de rugosité.

Cette technique de traitement d'images se base sur l'aptitude du cerveau humain à reconstruire la troisième dimension de l'environnement à partir de deux images. La troisième coordonnée spatiale, ou côte, d'un point dépend de la différence de position entre ce point et son point dit homologue sur les deux images perçues par l'œil gauche et l'œil droit. L'observation d'images en 3D consiste donc à traduire ces deux images en points puis à faire correspondre ces points homologues pour en déduire leurs côtes.

L'algorithme informatique du logiciel Stéréovision de Röntec se base sur le même principe pour reconstruire en trois dimensions deux images acquises au microscope électronique à balayage avec un angle de tilt de 6°. La différence de position de deux points sur les images de la paire stéréoscopique est appelée parallaxe ; elle consiste en la différence des longueurs de déplacement de ces points par rapport à l'axe de la prise de vue, autour duquel s'effectue l'angle de tilt. Pour chaque couple de points homologues, la parallaxe est calculée et la côte finale du point de l'image 3D en est déduite. Une matrice de points est sélectionnée sur l'image dite de référence et la matrice des points homologues est recherchée par le logiciel sur l'image de mesure. La matrice choisie pour la démonstration contient 10 000 points.

Le résultat du calcul est acquis sous forme d'images texturées, en trois dimensions ou en niveaux de gris continus, et sous forme d'un fichier de données, regroupant les trois coordonnées spatiales des points de la matrice. Les couleurs extrêmes sur l'image texturée (noir et blanc) correspondent aux erreurs de reconstruction, par non reconnaissance des points homologues sur les deux images de la paire stéréoscopique. Ce calcul aura permis de déterminer les coordonnées spatiales de 9 606 points sur les 10 000 interpolés, soit une erreur de reconstruction sur 394 points. Ces informations sont ensuite traitées par analyse topographique numérique.



(a) (b)
Figures III.32 : Surface d'une dent usinée avec les anciens inserts grains fins (a) Image en électrons secondaires (MEB), (b) reconstruction 3D de l'image.

Le logiciel Stéréovision permet également d'extraire des profils à partir d'une paire stéréoscopique, en sélectionnant sur l'image de référence, non pas une matrice de points mais une ligne de points. Le profil permet d'accéder à la rugosité de la surface, c'est-à-dire à la profondeur des cavités.

Dans le cadre de cette étude et étant donné le nombre important d'expérimentations réalisées, cette méthode s'est révélée trop fastidieuse à mettre en oeuvre, nous avons alors opté pour la profilométrie mécanique dans un premier temps et ensuite, compte tenu de l'évolution récente des méthodes optiques de mesures de rugosité, nous avons travaillé avec un microscope interférométrique travaillant en lumière blanche.

III 2.3.3. Profilométrie mécanique et Profilométrie sans contact

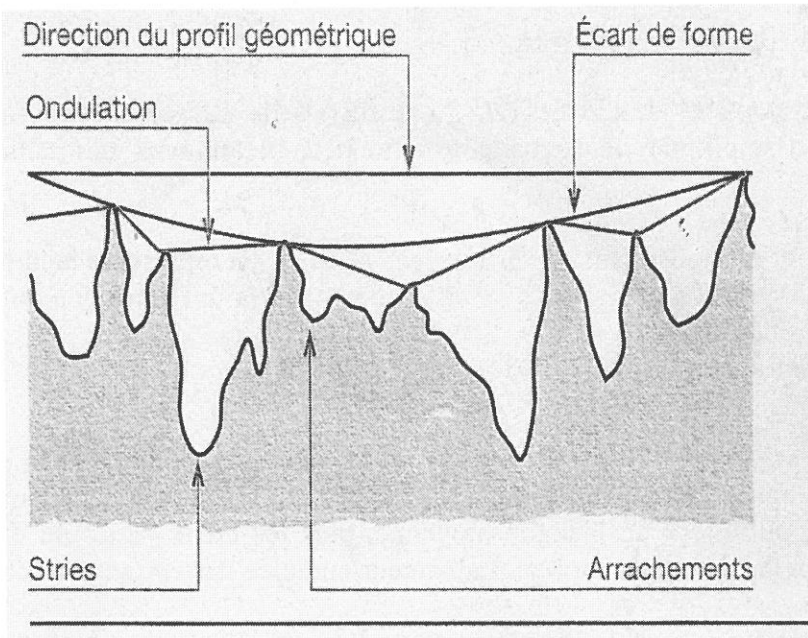
a) Définition des termes de quantification de la surface

Si l'on coupe normalement une surface par un plan, on obtient une courbe appelée profil de la surface. C'est à partir de ce profil que l'on analyse les différents défauts de surface. On classe les défauts géométriques en quatre ordre de grandeur :

- défauts du premier ordre : écarts de forme et de position,
- défauts du deuxième ordre : ondulation, caractérisée par la ligne enveloppe supérieure,
- défauts du troisième et du quatrième ordre : rugosité de surface.

Les défauts du troisième ordre sont constitués par des stries ou sillons. La distance entre deux sillons est comprise entre 0,02 et 0,5 mm environ.

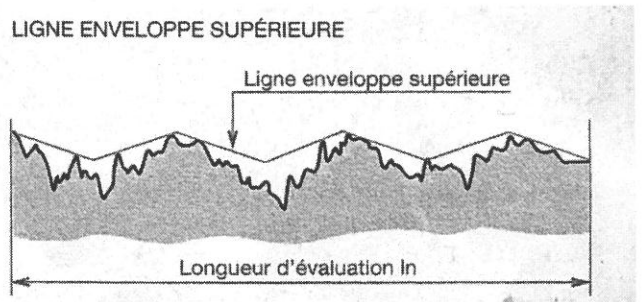
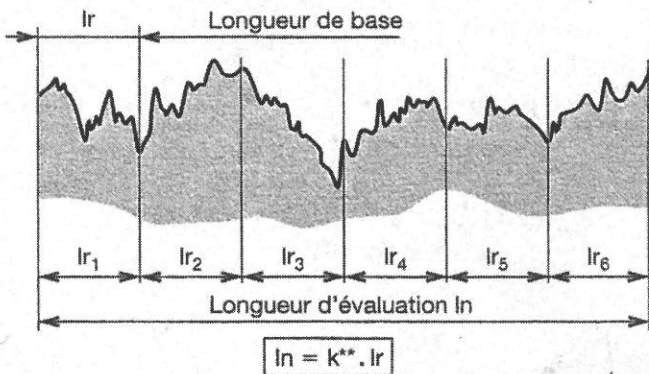
Les défauts du quatrième ordre sont des défauts apériodiques constitués par des arrachements, fentes, etc.... La distance entre deux pics de ces irrégularités est inférieure ou égale à 20 µm.



Si l'on veut quantifier la rugosité, en particulier, espacement entre deux irrégularités, hauteur des irrégularités, il est nécessaire de l'étudier à travers certains paramètres ou critères. C'est ainsi que l'on peut définir :

- la ligne enveloppe supérieure : segment de droite joignant les points les plus hauts des saillies locales du profil,
- la ligne moyenne : ligne qui divise le profil de telle sorte que la somme des aires comprises entre la ligne moyenne et le profil soit égale de part et d'autre,
- la longueur d'évaluation l_n : longueur, mesurée suivant la direction générale du profil,
- la longueur de base l_r : partie de la longueur d'évaluation utilisée pour séparer les irrégularités du profil.

LONGUEURS D'ÉVALUATION ET DE BASE



Les critères statistiques d'amplitude :

A partir des données numérisées ($z(x,y)$ ou $z(x)$) de la surface, il est possible de calculer les paramètres d'amplitude de rugosité traditionnels, néanmoins normalisés (DIN, ISO, ANSI, JIS) :

- (1) **Rt** pour la rugosité totale définie par $z_{\max}-z_{\min}$, Rt représente la largeur totale de la fonction des hauteurs. Il représente l'écart maximum entre le point le plus haut et le plus bas du profil.

- (2) **Ra** pour l'écart arithmétique moyen défini par :

$$Ra = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{ij}^{N_x N_y} |z_{(i,j)} - z_{moy}|$$

Il est obtenu schématiquement, en remplaçant les sommets du profil de rugosité, situés au dessus de la ligne moyenne, puis les creux situés au dessous, par des rectangles de même surface. La hauteur cumulée des rectangles accolés représente Ra.

D'après Laurent, si le Ra n'est pas un critère suffisant pour définir exactement un usinage, il donne cependant une bonne idée globale de la constance de l'usinage. Tout en présentant un profil de surface différent, le Ra peut avoir la même valeur.

- (3) **Rq** pour l'écart type défini par :

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{N_x N_y} \sum_{ij}^{N_x N_y} (z_{(i,j)} - z_{moy})^2}$$

- (4) **Rz** (la hauteur maximum du profil), pour chaque longueur d'échantillonnage, faire la somme des hauteurs des saillies (P_i) et des profondeurs (V_i) des creux du profil par rapport à la ligne moyenne. La valeur Z_i la plus élevée sur la longueur d'évaluation est le paramètre Ry (DIN et ANSI). Rz est la valeur moyenne :

$$Rz(DIN) = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5} \quad \text{où le nombre de longueurs d'échantillonnage est de 5.}$$

- (5) **Rp** (la hauteur maximum de saillie), R_{p_i} est la hauteur de la saillie du profil sur chaque longueur d'échantillonnage du profil évalué. La valeur moyenne des R_{p_i} sur la longueur d'évaluation correspond au paramètre Rp.

$$Rp(DIN, ISO, JIS - 1994) = \frac{Zp_1 + Zp_2 + Zp_3 + Zp_4 + Zp_5}{5} \quad \text{où le nombre de longueurs d'échantillonnage est de 5.}$$

Le **Rp** représente la profondeur d'aplanissement : distance entre le point le plus haut du profil et la ligne moyenne.

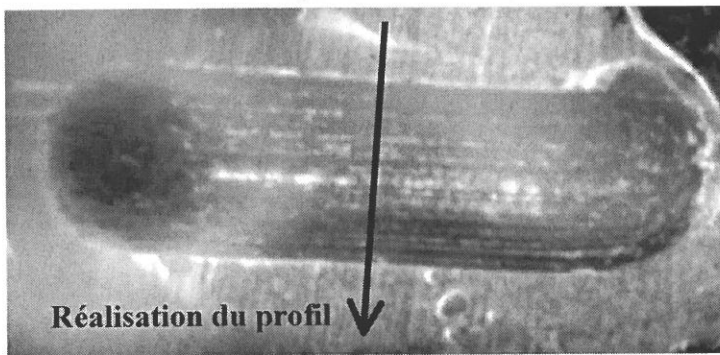
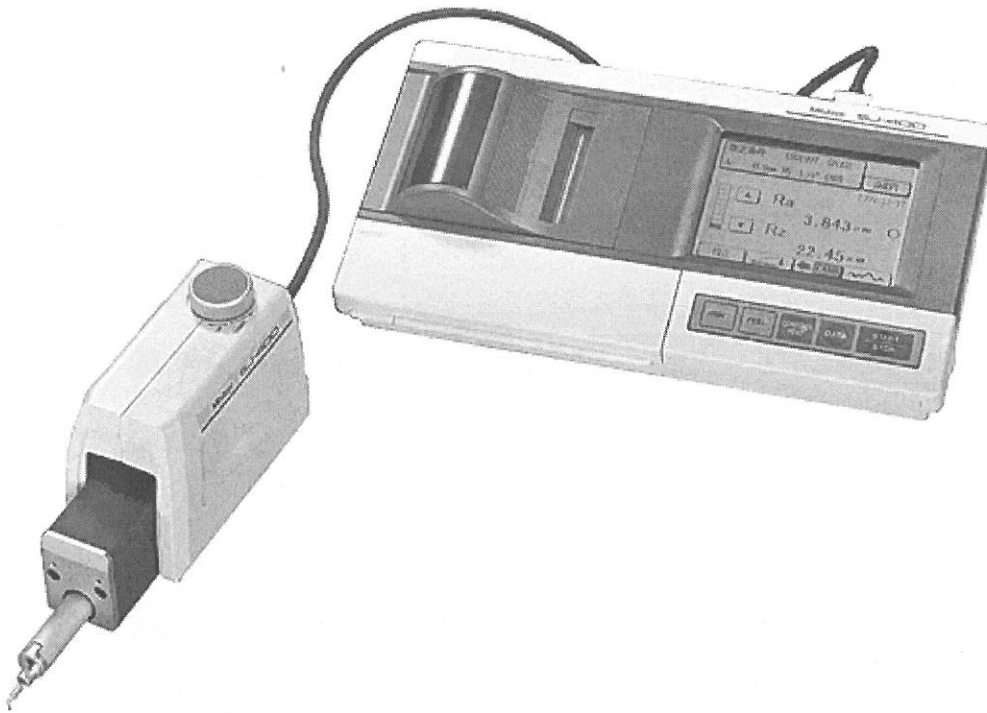
b) Mesure de profilométrie

➤ **Mécanique**

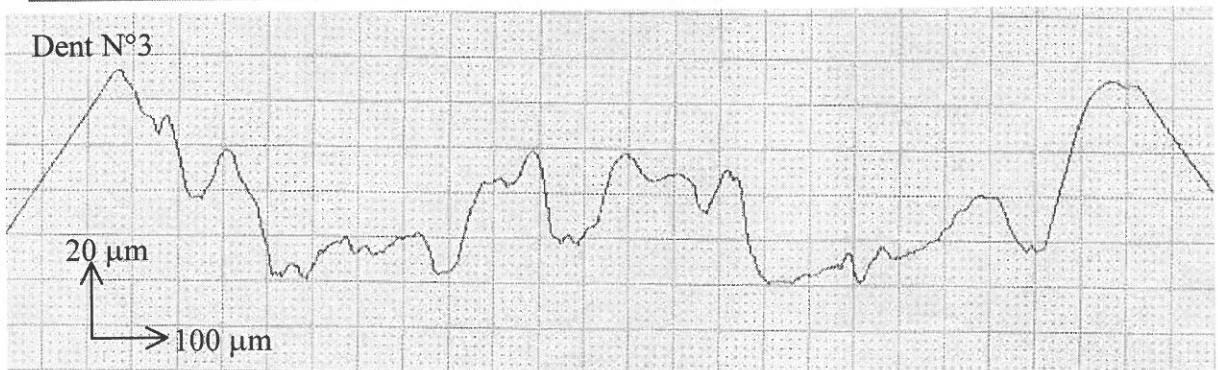
Réalisé à l'aide d'un rugosimètre électronique SurfTest SJ301 Mitutoyo :

- Contrôle la rugosité des surfaces par le déplacement d'un capteur piezoélectrique,
- Paramètres mesurables : Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp,

- Satisfait aux normes de rugosité "R CNOMO",
- Large écran tactile et imprimante graphique intégrée,
- Large plage de mesure de 300 μm ,
- Etalonnage et arrêt automatiques,
- Appareil portable et compact pour la mesure des états de surface.



R-PROFIL	
L	1.5mm
Ra	11.21 μm ↑
Rz	56.54 μm
Rq	13.29 μm
Rt	56.54 μm
Rp	26.49 μm
Rv	30.05 μm
RSm (10%)	378 μm



Un exemple de profil de rugosité sur la dent N°3 :Insert de 1^{ère} génération (grains fins)

➤ Sans contact : (interférométrie en lumière blanche)

□ Dispositif et principe de la mesure :

La mesure des profondeurs se fait sans contact par une mesure interférométrie en lumière blanche.

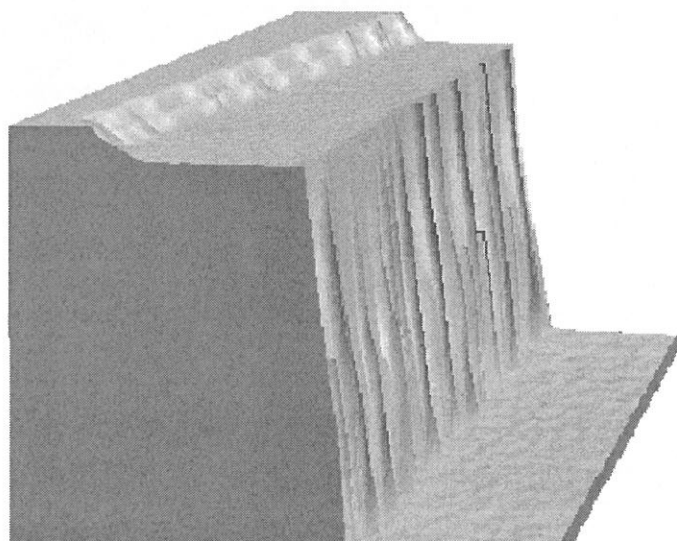
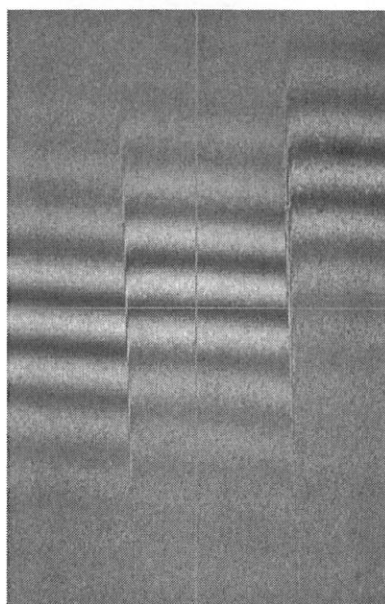
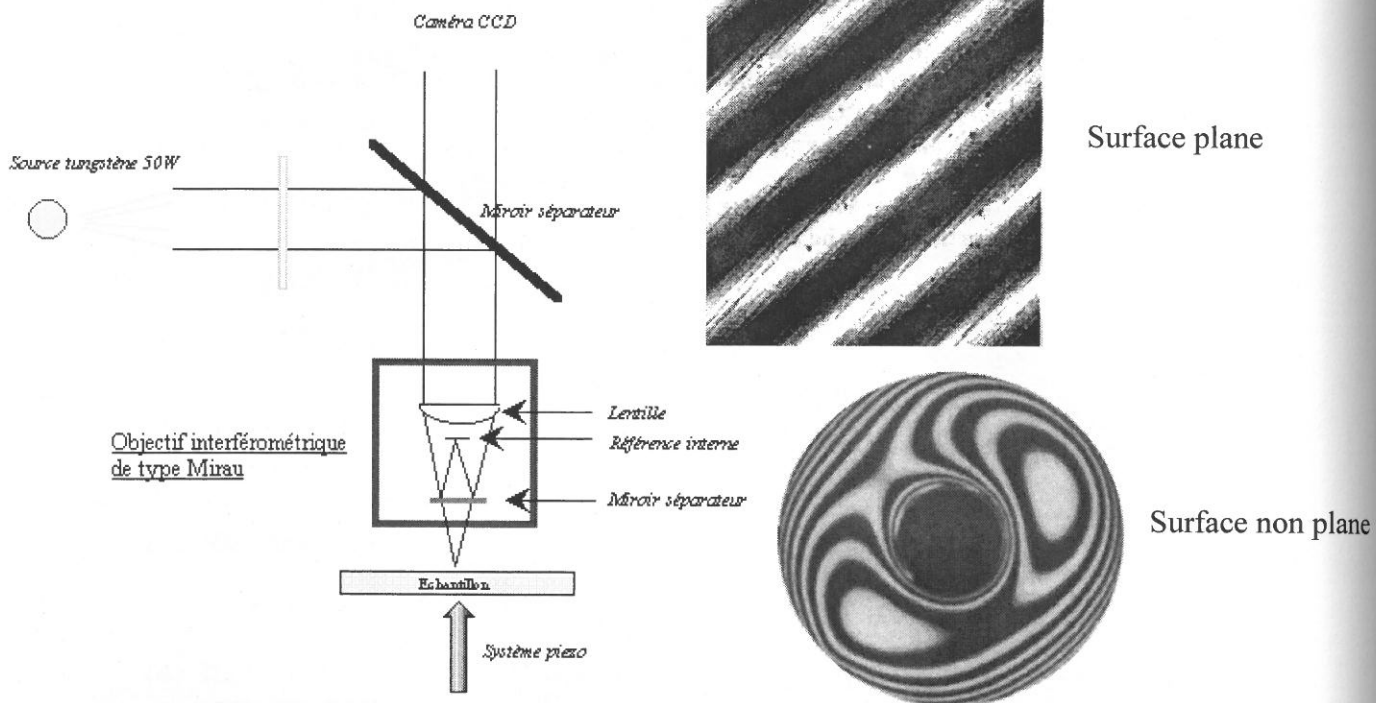
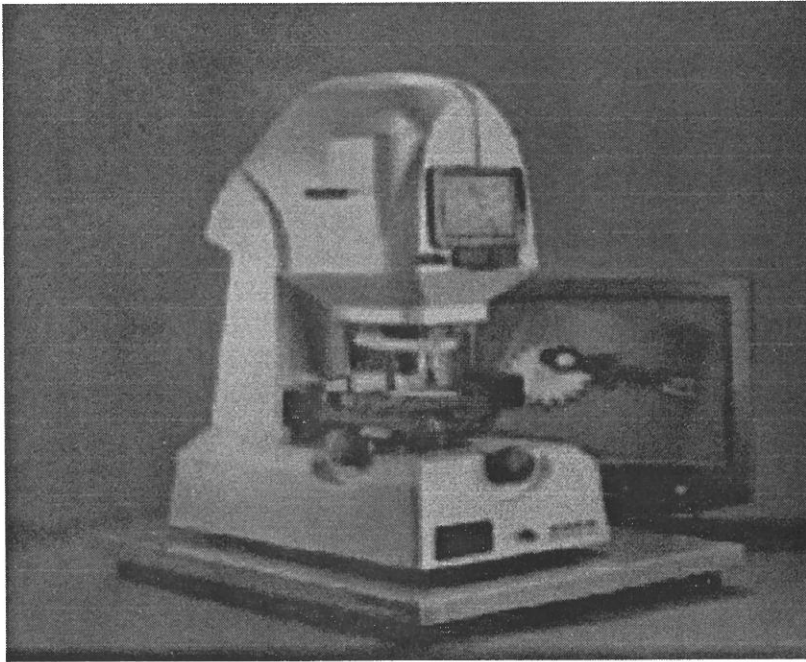


Illustration de la reconstruction d'une surface 3D à partir de l'image des franges d'interférences

a) Paramètres mesurés :

Les paramètres mesurés sont équivalents à ceux de la profilométrie mécanique (Ra, Rq, Rt,...), un logiciel permet également de tracer des profils en ligne locaux, déterminer les volumes de matières dans les pics et les vallées, etc. ...

b) Appareillage utilisé : le WYKO 1100 de la Société Veeco



Cet appareil permet d'accéder aux résolutions suivantes :

- * Résolution verticale : 1 Angström
- * Résolution latérale : 0.5 Microns
- * Pic/Valée maximum : 5 mm

La surface maximum de mesure est de 10 *10 cm² ou en ligne de 40 cm.

c). Illustration d'une reconstruction 3D et mesures réalisées :

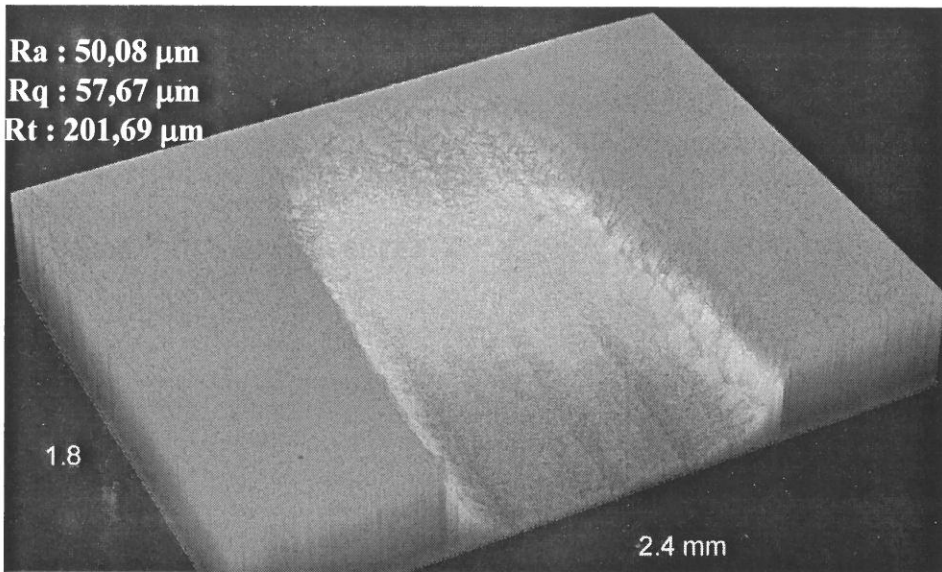
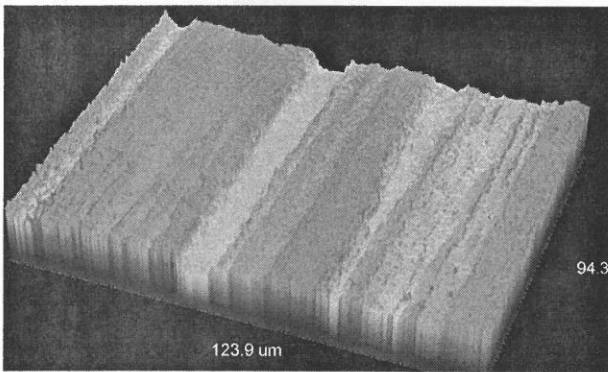
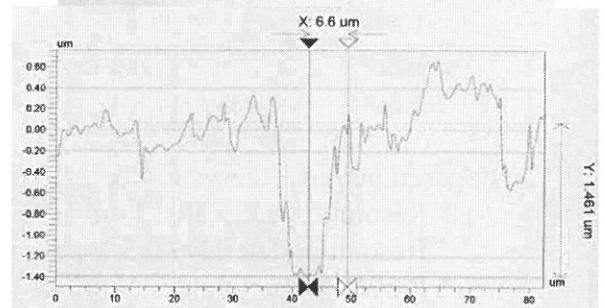
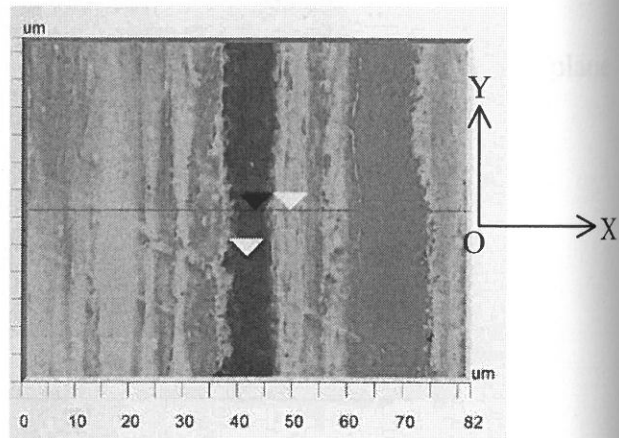


Illustration d'une reconstruction 3D représentant l'usinage de la dentine par un insert ultrasonore à l'aide de la machine d'usinage

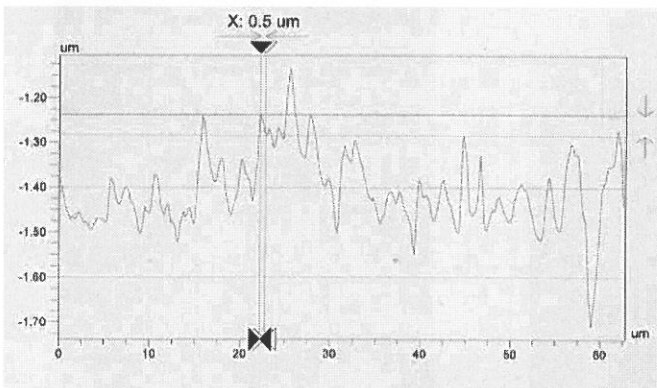


Détails de la partie usinée

Ra= 0,36 µm, Rq= 0,46 µm, Rt= 5,30 µm



Profil en ligne dans la direction OX



Profil en ligne dans la direction OY

	Rq µm	Ra µm	Rt µm
OX	0,56	0,51	1,46
OY	0,02	0,02	0,05

Paramètres de rugosités associés aux profils

CHAPITRE IV

LES INSERTS ULTRASONORES DE 1^{ère} ET DE 2^{ème} GENERATIONS

IV.1. ETAPE DE FAISABILITE : LES INSERTS ULTRASONORES DE 1^{ère} GENERATION

IV.1.1. Usinage de la dentine avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération, par deux opérateurs

IV.1.1.1. But

IV.1.1.2. Résultats

IV.1.1.3. Conclusions

IV.2. PHASE D'OPTIMISATION : LES INSERTS DE 2^{ème} GENERATION

IV.2.1. Etude du mode de vibration

IV.2.1.1. Sur du plâtre

- a) Manuellement
- b) Sur la machine
 - Le plâtre blanc (25kg/cm²)
 - Le plâtre gris (130kg/cm²)
 - Le plâtre rose (475kg/cm²)
- c) Conclusions

IV.2.1.2. Usinage sur du titane

IV.2.2. Comparaison de l'usinage de la dentine par les différents inserts

IV.2.2.1. Evaluation de l'efficacité d'usinage des inserts de 2^{ème} génération courts et longs

- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.2. Evaluation de l'efficacité d'usinage des inserts de 2^{ème} génération courts

- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.3. Comparaison de l'efficacité d'usinage des inserts de 1^{ère} et 2^{ème} générations gros grains

- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.4. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations gros grains et grains fins

- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.5. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} génération

- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.6. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} génération gros grains et grains fins en utilisant la machine

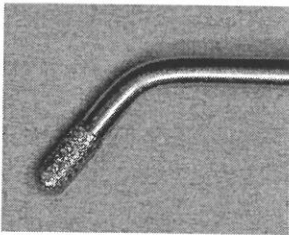
- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.2.2.7. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} génération grains fins sur machine et utilisés manuellement dans des conditions cliniques par trois opérateurs différents

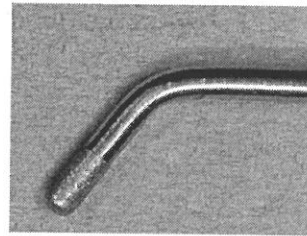
- a) But
- b) Résultats
 - Aménagement de la limite
 - Aspect en Macrophotographie
- c) Commentaires

IV.1. ETAPE DE FAISABILITE : LES INSERTS ULTRASONORES DE 1^{ère} GENERATION

Comme nous le précisons dans le chapitre II, notre premier souci a été de développer, en collaboration avec la société Satelec, des inserts ultrasonores diamantés « prototypes », répondant à des critères précis, nous permettant de commencer l'étude. C'est ainsi que sont nés les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération (Fig. IV.1 et IV.2).



**Insert 1^{ère} génération
Gros grains
Fig. IV.1**



**Insert 1^{ère} génération
Grains fins
Fig. IV.2**

IV.1.1. USINAGE DE LA DENTINE AVEC LES INSERTS ULTRASONORES DE 1^{ère} GENERATION, PAR DEUX OPERATEURS

IV.1.1.1. But

Le but de cette expérimentation est d'évaluer l'efficacité d'usinage des inserts de 1^{ère} génération gros grains (135 μm) sur la dentine, en mesurant la quantité de matière enlevée.

Deux praticiens ont préparé chacun 10 dents : 5 prémolaires et 5 molaires, selon les critères définis précédemment.

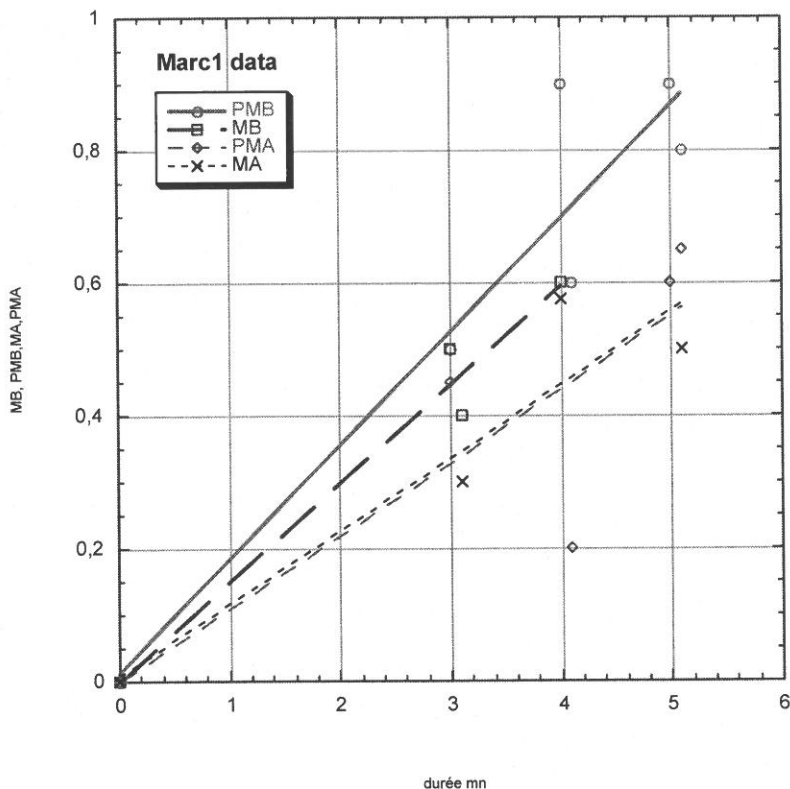
Les limites ont ensuite été aménagées aux ultrasons pour différentes durées d'utilisation.

Cette expérimentation est réalisée en utilisant le générateur à ultrasons standard.

IV.1.1.2. Résultats de l'aménagement de la limite

Inserts	Durée d'utilisation	Dents	d-d':Praticien A	Dents	d-d': Praticien B
N°1 neuf	3 mn	PM	0,4 mm	PM	0,5 mm
N°2 neuf	4 mn	M	0,5 mm	PM	0,9 mm
N°3 neuf	5 mn	PM	0,6 mm	PM	0,9 mm
N°1	5 mn	M	0,5 mm	PM	0,8 mm
N°2	4 mn	PM	0,2 mm	PM	0,6 mm
N°3	3 mn	M	0,3 mm	M	0,4 mm
N°4 neuf	3 mn	PM	0,5 mm	M	0,5 mm
N°5 neuf	4 mn	M	0,65 mm	M	0,6 mm
N°6 neuf	5 mn	PM	0,7 mm	M	0,7 mm
N°7 neuf	10 mn	M	0,35 mm	M	0,5 mm

Tableau IV.1 : Conditions de préparations (Inserts de 1^{ère} génération)
(jaune : usinage maximal ; bleu : usinage minimal ; mesure d-d' : Cf page 62)



PMB :Prémolaire, praticien B
MB :Molaire, praticien B
PMA :Prémolaire, praticien A
MA :Molaire, praticien A

Figure IV.3 : quantité de matière (denture) usinée en fonction du temps

IV.1.1.3. Conclusions

Nous constatons que :

- quel que soit le praticien, les inserts ont été efficaces,
- si l'on fait abstraction de la dernière dent, préparée pendant 10 mn sur la totalité de l'épaule, il semble qu'il existe une relation quasi-linéaire entre la quantité de matière enlevée et le temps de préparation,
- la pression exercée par l'opérateur semble également jouer un rôle, puisque les valeurs minimales et maximales de matière enlevée sont légèrement différentes d'un praticien à l'autre,
- si l'on considère la préparation de la Molaire sur toute la limite pendant 10 mn, ce qui correspond à la réalité clinique, on se rend compte que la quantité de matière enlevée est faible, de 0,35 à 0,50 mm en fonction des praticiens, ce qui correspond au minimum requis.

Malgré leur efficacité, ces inserts ont une vibration encore insuffisante pour pouvoir être utilisés de manière efficace dans le cadre d'une activité clinique. De plus, ils présentent une longueur et un diamètre de la partie active trop importants, incompatibles avec une utilisation dans les zones interproximales.

IV.2. PHASE D'OPTIMISATION : LES INSERTS DE 2^{ème} GENERATION

En fonction des résultats de la 1^{ère} expérimentation, nous avons décidé, après concertation avec la société Satelec, de modifier la forme des inserts de 1^{ère} génération. Pour des raisons pratiques, en particulier connaissance de l'insert en terme de vibration, notre choix s'est portée sur une forme d'insert ayant fait ses preuves en parodontologie et commercialisée par la société Satelec : l'insert Twiny (Fig. IV.4)

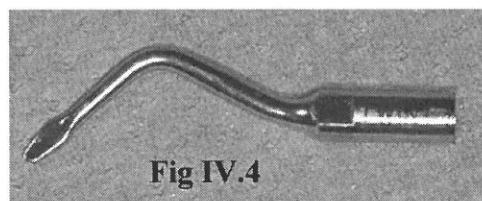


Figure IV.4 : Insert Twiny

A partir de cette forme, quatre types d'inserts ont été créés (Fig. IV.5 et IV.6).

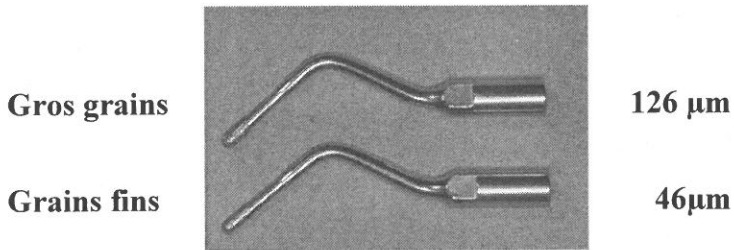


Fig. IV.5

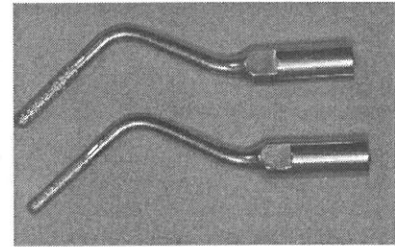


Fig. IV.6

Figure IV.5 : Inserts de 2^{ème} génération courts gros grains et grains fins

Figure IV.6 : Inserts de 2^{ème} génération longs gros grains et grains fins

Dans le même temps, la société Satelec a amélioré le générateur Pmax en l'équipant d'un nouveau module, le SP Newtron (Cf. matériel et méthode).

Il nous a semblé intéressant d'étudier et de comparer l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} génération, dans les mêmes conditions, en utilisant ce nouveau module.

IV.2.1. ETUDE DU MODE DE VIBRATION

IV.2.1.1. Sur du plâtre

a) Manuellement

Pour essayer de comprendre et de déterminer le mode de vibration des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations, nous les avons utilisés manuellement sur du plâtre (130 Kg/cm²), en leur imposant une pression dans plusieurs directions de l'espace et en observant la forme et la profondeur des impacts.

Cinq impacts ont été réalisés en utilisant deux types d'inserts, 1^{ère} génération gros grains et 2^{ème} génération court gros grains, pendant 5 secondes (Fig. IV.7 et IV.8).

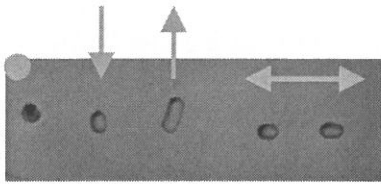
Le premier impact a été fait en exerçant une pression axiale.

Pour le deuxième impact, nous avons exercé une pression vers l'avant, après avoir enfoncé la pointe de l'insert de 1 mm dans le plâtre.

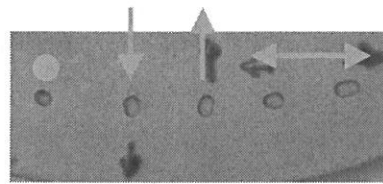
Pour le troisième impact, nous avons exercé une traction sur l'insert, après l'avoir enfoncé de 1mm dans le plâtre.

Pour le quatrième impact, nous avons exercé une pression sur l'insert vers la droite, après l'avoir enfoncé de 1 mm dans le plâtre.

Pour le cinquième impact, nous avons exercé une pression sur l'insert vers la gauche, après l'avoir enfoncé de 1mm dans le plâtre.



Insert 1^{ère} génération
Fig. IV.7



Insert 2^{ème} génération
Fig. IV.8

Figure IV.7 : Impacts obtenus avec l'insert de 1^{ère} génération gros grains

Figure IV.8 : Impacts obtenus avec l'insert de 2^{ème} génération gros grains court

Les résultats montrent :

- une meilleure efficacité de l'insert de 1^{ère} génération dans deux directions :
 - pression axiale avec enfoncement de 4 à 5 mm,
 - traction de l'insert avec déplacement de 2 à 3 mm,
 - les pressions dans les autres directions donnent des déplacements de l'ordre du mm.
- une efficacité moindre des inserts de 2^{ème} génération par rapport à ceux de 1^{ère} génération dans pratiquement toutes les directions, exceptées latéralement :
 - pression axiale avec enfoncement de 1 à 2 mm,
 - pression antérieure et traction de l'insert avec déplacement de 0,5mm,
 - pressions latérales avec déplacements de l'ordre de 1,5mm.

Il semblerait donc que **les inserts de 1^{ère} génération aient un mode de vibration en percussion** ce qui expliquerait leur meilleure efficacité en axial et en traction, la pression vers l'avant bloquant leur vibration.

Par contre, les inserts de 2^{ème} génération sont bloqués dans pratiquement toutes les directions, excepté latéralement. **Il semblerait que ces inserts aient un mode de vibration en fouet**, qui a plus de difficultés à s'exprimer dans ces conditions, en particulier lorsque l'on exerce des pressions contre les parois.

b) Sur la machine

Après avoir travaillé manuellement, nous avons réalisé une expérimentation, sur la machine en statique (machine de première génération) avec une charge de 160 gr appliquée sur le transducteur et pendant 20 secondes. Nous utilisons cette fois ci plusieurs types de plâtre de dureté différente (Fig IV.9), en espérant qu'un de ces supports sera suffisamment malléable pour permettre à l'insert de travailler et de supprimer de la matière dans le sens de sa propre vibration.

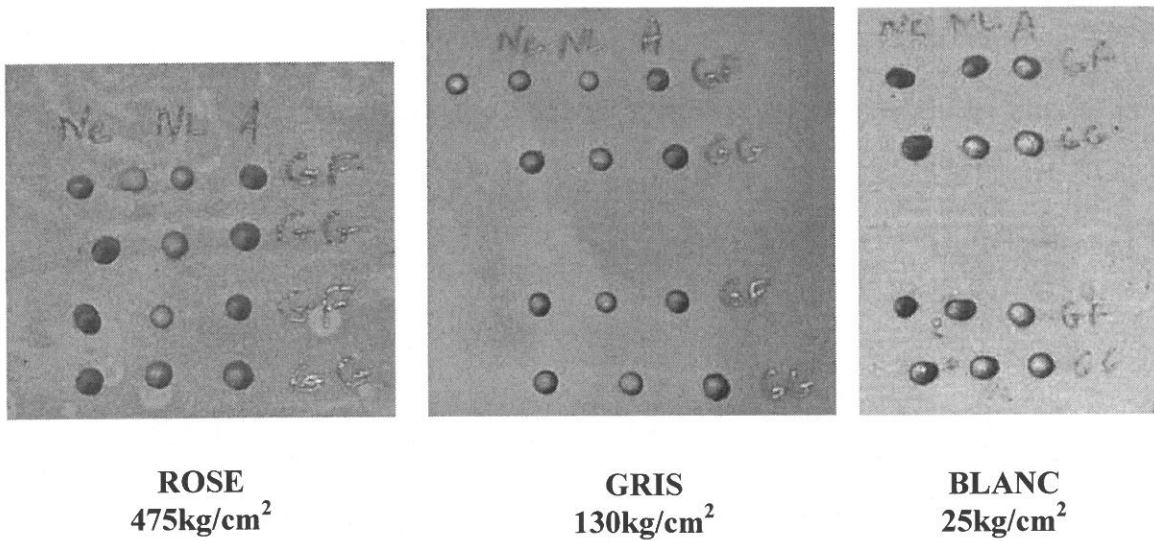


Figure IV.9 : Surfaces des plâtres avec différents inserts (A : ancienne ou 1^{ère} génération ; NL : nouvelle ou 2^{ème} génération long ; NC : nouvelle ou 2^{ème} génération court ; GF : grains fins ; GG : gros grains)

➤ Le plâtre Blanc (25kg/cm²) :

Inserts gros grains	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération long	2 ^{ème} génération court
Profondeur des trous (mm)	3,5 +/- 0,3	4 +/- 0,3	6 +/- 1,5
Diamètre des trous (mm)	Vertical: 2,0 +/- 0,1 Horizontal: 2,2 +/- 0,2	2,0 +/- 0,1	Vertical : 1,8 +/- 0,1 Horizontal : 2 +/- 0,3

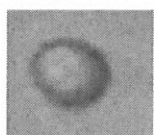
Inserts grains fins	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération long	2 ^{ème} génération court
Profondeur des trous (mm)	3,25	4,5 +/- 0,5	6,5 +/- 0,5
Diamètre des trous (mm)	Vertical : 1,90 +/- 0,06 Horizontal : 2,1 +/- 0,3	Vertical : 1,85 +/- 0,1 Horizontal : 1,9	Vertical : 1,75 +/- 0,06 Horizontal : 2,1 +/- 0,1

Nous remarquons :

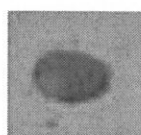
- qu'il n'y a pas de grandes différences d'usinage entre les gros grains et les grains fins,
- que les inserts courts sont plus efficaces, car ils réalisent un usinage plus profond. Ce qui signifierait que l'insert court a une bonne vibration dans ce type de plâtre,
- que les empreintes laissées par les inserts ne sont pas circulaires, en effet il y a des différences d'un insert à l'autre. Les empreintes les plus importantes sont sur le plan horizontal. Ce résultat est conforté par l'observation des plâtres, où l'on remarque que les inserts de 2^{ème}

génération courts et longs grains fins donnent des impacts plus ovalaires (Fig. IV.11 et 12), que les inserts de 1^{ère} génération grains fins (Fig. IV.10),

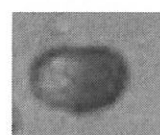
- que les gros grains laissent une marque légèrement plus large que les grains fins.



1^{ère} G.GF
Fig. IV.10



2^{ème} GC.GF
Fig. IV.11



2^{ème} GL.GF
Fig. IV.12

Figure IV.10 : Impact laissé par l'insert de 1^{ère} G.GF

Figure IV.11 et 12 : Impacts laissés par l'insert de 2^{ème} GC.GF et celui de 2^{ème} GL.GF

➤ Le plâtre gris (130kg/cm²) :

Inserts gros grains	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération long	2 ^{ème} génération court
Profondeur des trous (mm)	4.25 +/- 0.5	2,5 +/- 0,5	3.2 +/- 0.2
Diamètre des trous (mm)	2 ,00+/- 0,06	1.8 +/- 0,1	1.8 +/- 0,1

Inserts grains fins	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération long	2 ^{ème} génération court
Profondeur des trous (mm)	4.25 +/- 0.7	2 +/- 0.6	3.2 +/- 0.4
Diamètre des trous (mm)	2,0+/- 0,2	1.7 +/- 0,3	1.85 +/- 0,2

Ici aussi, nous remarquons :

- qu'il n'y a pas de différence d'usinage entre les gros grains et les grains fins,
- que les inserts usinent de façon uniforme,
- par comparaison avec le plâtre de dureté inférieure, nous voyons que les trous sont plus sphériques,
- que les inserts de 1^{ère} génération sont les plus efficaces, suivi des inserts de 2^{ème} génération courts.

a) Le plâtre Rose (475kg/cm²) :

Inserts gros grains	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération long	2 ^{ème} génération court
Profondeur des trous (mm)	3,75 +/- 0,5	3 +/- 0,6	4.5 +/- 0,5
Diamètre des trous (mm)	2 +/-0,2	1.9 +/-0,15	Vertical : 2 +/- 0,1 Horizontal : 1,95 +/- 0,2

Inserts grains fins	1 ^{ère} génération	Nouvelle génération long	Nouvelle génération court
Profondeur des trous (mm)	3,75 +/- 0,5	2,5 +/- 1	4 +/- 0,5
Diamètre des trous (mm)	1,95 +/- 0,2	1.8 +/- 0,1	Vertical : 2 +/- 0,1 Horizontal : 1.8 +/- 0,1

Nous constatons :

- ici aussi, que les inserts les plus efficaces sont les inserts de 1^{ère} génération et les inserts de 2^{ème} génération courts, sans distinction entre les gros grains et les grains fins,
- que les inserts de 2^{ème} génération courts laissent une empreinte légèrement ovalaire, par rapport aux autres inserts. Cela s'explique par une pénétration de l'insert légèrement oblique par rapport au plâtre.

C) Conclusions

Ces expérimentations sur le plâtre permettent de tirer quelques conclusions :

- les inserts de 1^{ère} génération et ceux de 2^{ème} génération courts usinent davantage que ceux de 2^{ème} génération longs. La quantité de diamants joue certainement un rôle,
- quel que soit le type d'insert, les grains fins usinent autant que les gros grains,
- les impacts laissés sur le plâtre blanc, le moins dur, par les inserts de 2^{ème} génération sont légèrement ovalisés, contrairement à ceux laissés par les inserts de 1^{ère} génération. Il semblerait que la malléabilité de ce plâtre permet à ces inserts de mieux exprimer leur vibration et en particulier ce mouvement de fouet, responsable de l'ovalisation de l'impact.

IV.2.1.2. Usinage sur du titane

Ces essais sur le plâtre semblent indiquer que les inserts de 1^{ère} génération vibrent en percussion alors que les inserts de 2^{ème} génération vibrent comme un fouet. Pour confirmer ceci, nous avons laissé vibrer librement (sans charge) un insert de 1^{ère} génération à la surface d'un échantillon dur d'alliage de titane (Figure IV.13).

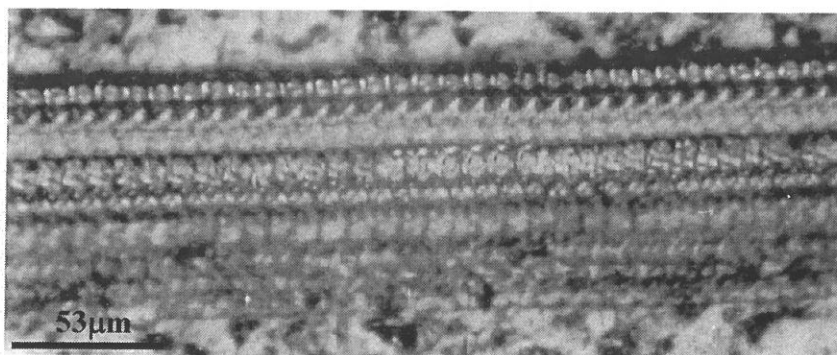


Figure IV.13 : Illustration de l’empreinte de surface laissée par un insert de 1^{ère} génération sur un matériau dur

L’amplitude entre deux percussions est d’environ 10 μm.

IV.2.2. COMPARAISON DE L’USINAGE DE LA DENTINE PAR LES DIFFERENTS INSERTS

IV.2.2.1. Evaluation de l’efficacité d’usinage des inserts de 2^{ème} génération courts et longs

a) But

Le but de cette expérimentation est de comparer l’usinage des inserts de 1^{ère} génération, longs et courts, gros grains (126μm).

L’expérimentation est réalisée par un praticien. Il prépare huit Molaires.

La première étape consiste à préparer les dents selon le protocole décrit précédemment : sur la moitié de la face mésiale, toute la face vestibulaire et la moitié de la face distale.

La deuxième, à aménager la moitié de la limite avec les inserts ultrasonores pendant 3 minutes.

b) Résultats

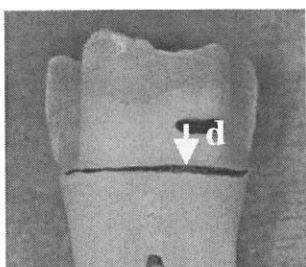
➤ Aménagement de la limite

Dents	Inserts	Temps	Distance d	Distance d'	Distance d'-d
N°1	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2,5	4	1,5
N°2	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	3,5	1,5
N°3	2 ^{ème} GL GG	3 mn	2,5	4	1,5
N°4	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	4,5	2
N°5	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2,75	4	1,25
N°6	2 ^{ème} GL GG	3 mn	3,5	4,5	1
N°7	2 ^{ème} GL GG	3 mn	2,5	3,25	0,75

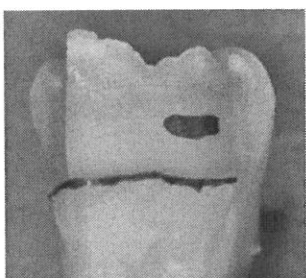
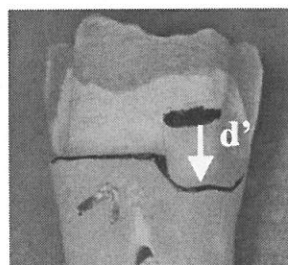
➤ Aspect en Macrophotographie

Avant usinage

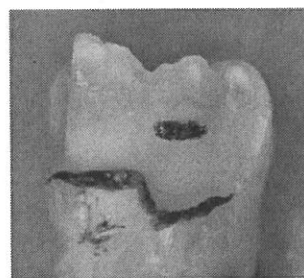
Après usinage

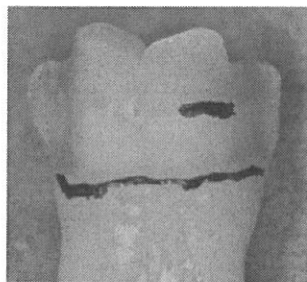


Dent n°1

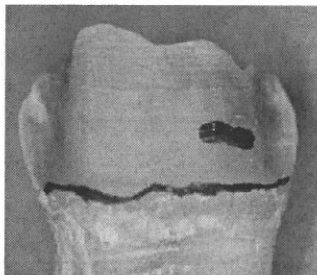
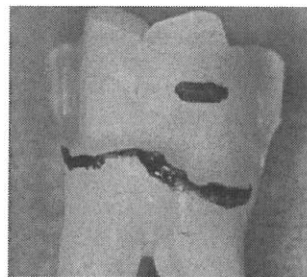


Dent n°2

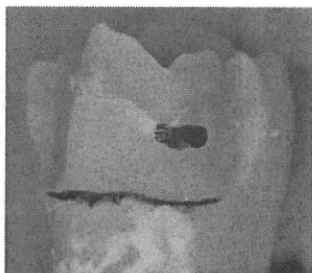
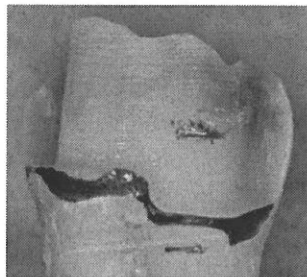




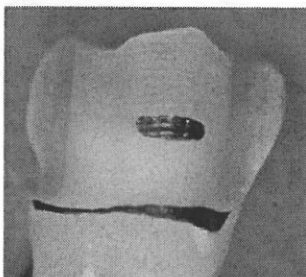
Dent n°3



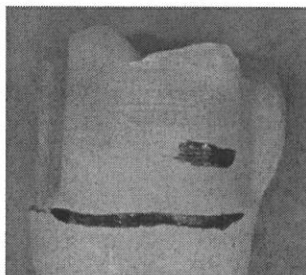
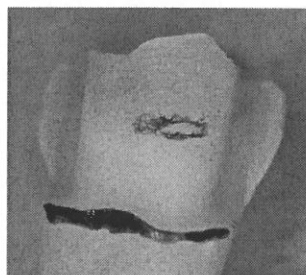
Dent n°4



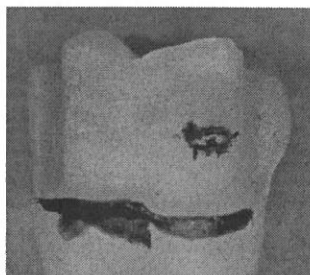
Dent n°5



Dent n°6



Dent n°7



c) Commentaires

Les résultats de cette expérimentation montrent que les inserts diamantés de 2^{ème} génération courts gros grains usinent mieux que les inserts longs, ce qui confirme les résultats de l'usinage du plâtre. Cette différence est certainement en rapport avec la quantité de diamants, qui semble être un facteur limitant ou modifiant la vibration.

La suite de notre étude portera uniquement sur les inserts de 1^{ère} génération et de 2^{ème} générations courts.

IV.2.2.2. Evaluation de l'efficacité d'usinage des inserts de 2^{ème} génération courts

a) But

Le but de cette expérimentation est de quantifier l'usinage des inserts nouvelle génération courts, gros grains (126 μ m), en fonction du temps.

L'expérimentation est réalisée par un praticien.

Il prépare 13 Molaires.

La première étape consiste à préparer les dents selon le protocole décrit précédemment.

La deuxième à aménager la moitié de la limite avec les inserts ultrasonores pendant 3 minutes, ou 4 minutes s'il s'agit de la totalité de la limite.

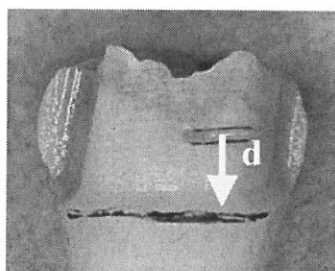
b) Résultats

➤ Aménagement de la limite

Dent	Insert	Temps	Distance d	Distance d'	Distance d'-d
N°8	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2,5 mm	3,5 mm	1 mm
N°9	2 ^{ème} GC.GG	4 mn	3 mm	4,5 mm	1,5 mm
N°10	2 ^{ème} GC.GG	4 mn	2 mm	3,5 mm	1,5 mm
N°11	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2,5 mm	3,5 mm	1 mm
N°12	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2,5 mm	3,5 mm	1 mm
N°13	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	3 mm	4,5 mm	1,5 mm
N°14	2 ^{ème} GC.GG	4 mn	3,5 mm	4 mm	0,5 mm
N°15	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2,5 mm	3 mm	0,5 mm
N°16	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2,5 mm	4 mm	1,5 mm
N°17	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	2 mm	3,5 mm	1,5 mm
N°18	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	3,5 mm	4,5 mm	1 mm
N°19	2 ^{ème} GC.GG	3 mn	3 mm	4 mm	1 mm

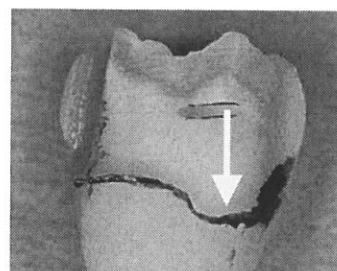
➤ Aspect en Macrophotographie

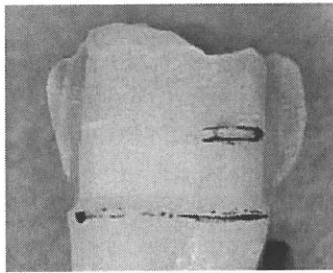
Avant usinage



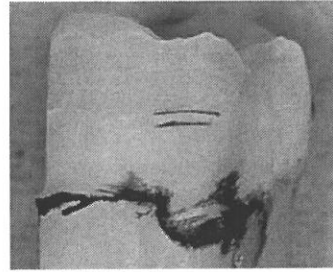
Dent n°8

Après usinage





Dent n°9



Dents n°10 à 19 : Cf. annexe

c) Commentaires

Les résultats de cette expérimentation montrent :

- que les inserts de 2^{ème} génération courts ont une action efficace sur la dentine,
- que l'abrasion minimale est de 0,5 mm (un insert), l'abrasion maximale de l'ordre de 1,5 mm (5 inserts).

Il semble que la valeur la plus faible soit en rapport avec un insert de mauvaise qualité, puisqu'il est le seul à donner un si mauvais résultat, les autres donnant au minimum une valeur de 1 mm.

Il est à préciser, que les lots d'inserts de 2^{ème} génération, fournis par la société Satelec, sont très hétérogènes dans leur qualité de fabrication, puisque certains inserts n'ont pu être utilisés, soit par absence de vibration, soit par absence de spray.

IV.2.2.3. Comparaison de l'efficacité d'usinage des inserts de 1^{ère} et 2^{ème} génération gros grains

a) But

Le but de cette expérimentation est de comparer l'usinage des inserts de 1^{ère} génération gros grains à celui des inserts de 2^{ème} génération gros grains, en utilisant le nouveau générateur SP Newtron.

Elle doit nous permettre d'évaluer l'apport du générateur dans l'efficacité de la vibration des inserts de 1^{ère} génération, donc de l'usinage, et de vérifier si les inserts de 2^{ème} génération sont plus efficaces que ceux de 1^{ère} génération.

L'expérimentation est réalisée par un praticien, sur trois dents.

La première étape consiste à préparer les dents selon un protocole classique.

La deuxième à aménager la moitié de la limite (partie distale) avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération pendant 3 minutes et l'autre moitié (partie mésiale) avec les inserts ultrasonores de 2^{ème} génération, en prenant soins de laisser un petit îlot de limite non retouché aux ultrasons entre les deux, qui servira de repère.(cf. aspect en macrophotographie)

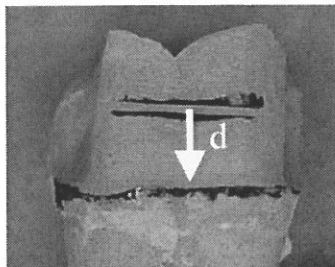
b) Résultats

➤ Aménagement de la limite

Dent	Face	Insert	Temps	d mm	d' mm	d'' mm	d'-d mm	d''-d mm
N°20	mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	3,25	4,5		1,25	
	distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	3		4		1
N°21	mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2,75	4,25		1,5	
	distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	3		4		1
N° 22	mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2,75	4,5		1,75	
	distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,75		3,75		1

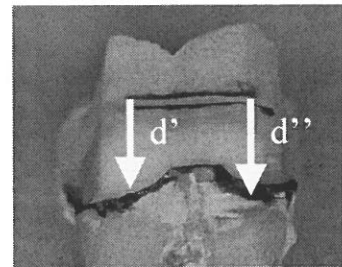
➤ Aspect en Macrophotographie

Avant usinage



mésial distal

Après usinage



mésial distal

Dent n°20

2^{ème} GC GG

1^{ère} G GG

Dents n°21 et 22 : Cf. annexe.

c) Commentaires

Les résultats de cette expérimentation montrent :

- une meilleure efficacité des inserts de 2^{ème} génération par rapport aux inserts de 1^{ère} génération et ce dans tous les cas, de + 0,25 à + 0,75 avec une quantité de dentine enlevée de l'ordre de 1,25 à 1,75 mm,

- des limites plus nettes, avec une forme plus régulière lors de l'utilisation des inserts de 1^{ère} génération. Cette différence de profil d'usinage est certainement en rapport avec le mode de vibration différent, des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations,
- un meilleur usinage des inserts de 1^{ère} génération par rapport à la première expérimentation. Ceci étant en rapport avec l'utilisation du nouveau module SP Newtron introduit dans le générateur P MAX. Ce module améliore la vibration des inserts de 1^{ère} génération et leur permet d'avoir une action abrasive plus importante (0,2 à 0,9 mm avec le module standard, de l'ordre de 1 mm dans tous les cas avec le module SP Newtron).

IV.2.2.4. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations gros grains et grains fins

a) But

Cette étude a pour but de comparer :

- l'usinage des inserts gros grains par rapport à celui des inserts grains fins, pour les deux générations d'inserts (dents n°23 à 30),
- l'usinage des inserts grains fins de 2^{ème} génération, par rapport aux inserts grains fins de 1^{ère} génération (dent n°31 à 36),
- l'usinage des inserts gros grains de 2^{ème} génération, par rapport aux inserts gros grains de 1^{ère} génération (dent n° 37 et 38).

Cette expérimentation porte sur 16 dents et diffère de la précédente par le choix des inserts ultrasonores.

- 4 dents sont préparées avec les inserts de 1^{ère} génération : en mésial gros grains en distal grains fins.
- 4 dents sont préparées avec les inserts de 2^{ème} génération : en mésial gros grains, en distal grains fins.
- 6 dents sont préparées avec les inserts de 2^{ème} génération grains fins en mésial et 1^{ère} génération grains fins en distal.
- 2 dents sont préparées avec les inserts de 2^{ème} génération gros grains en mésial et de 1^{ère} génération gros grains en distal.

b) Résultats

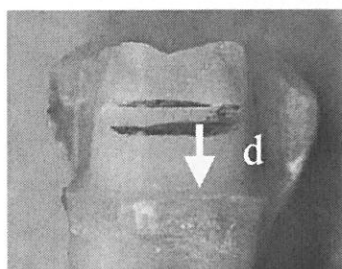
➤ Aménagement de la limite

Dent	Face	Insert	Temps	d (mm)	d'(mm)	d''(mm)	d'-d(mm)	d''-d(mm)
N°23	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	3		1	
	Distal	2 ^{ème} GC GF	3 mn	2		3,25		1,25
N°24	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2,5	3,5		1	
	Distal	2 ^{ème} GC GF	3 mn	2,5 m		4,5		2

N°25	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	3		1	
	Distal	2 ^{ème} GC GF	3 mn	1,75		3		1,25
N°26	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	1,5	2,5		1	
	Distal	2 ^{ème} GC GF	3 mn	1,5		2,5		1
N°27	Mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5	3,25		0,75	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2,5		3,75		1
N°28	Mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	3 mm	4		1	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3 mm		4,75		1,75
N°29	Mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5	3,5		0,75	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2,5		4		1
N°30	Mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5	3,5		1	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2		3,5		1,5
N°31	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	3	3,75		1,75	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3		4,25		1,25
N°32	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	3	4		1	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3		4		1
N°33	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	3,25	4		0,75	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3		3,75		0,75
N°34	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	2,5	3,25		0,75	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2,5		3,25		0,75
N°35	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	2	3		1	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	1,75		2,75		1
N°36	Mésial	2 ^{ème} GC GF	3 mn	2	3		1	
	Distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2		3,25		1,25

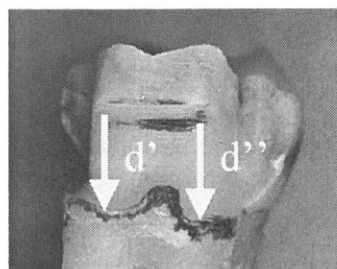
N°37	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	2,75		0,75	
	Distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	2		3,25		1,25
N°38	Mésial	2 ^{ème} GC GG	3 mn	2	3,25		1,25	
	Distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	1,5		2,5		1

➤ Aspect en Macrophotographie

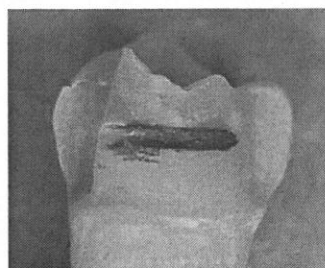


mésial distal

Dent n°23

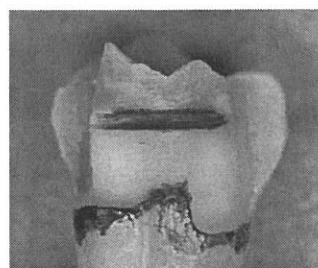


mésial distal



mésial distal

Dent n°24



mésial distal

Dents 25 à 38 :Cf. annexe

c) Commentaires

Les résultats de cette expérimentation montrent :

- que les inserts de 1^{ère} génération grains fins, usinent plus que les inserts gros grains (+0,5mm),
- que les inserts de 2^{ème} génération grains fins, usinent plus que les inserts gros grains (+ 0,3mm),
- qu'il n'y a pas de différences significatives entre l'usinage des inserts grains fins de 1^{ère} et de 2^{ème} générations,
- qu'il n'y a pas de différences significatives entre l'usinage des inserts gros grains de 1^{ère} et de 2^{ème} générations, contrairement à l'expérimentation précédente.

IV.2.2.5. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations

a) But

Le but de cette expérimentation est de confirmer les précédents résultats en utilisant un nouveau lot d'inserts de 2^{ème} génération.

On peut ainsi comparer l'usinage :

- des inserts diamantés de 1^{ère} génération gros grains et grains fins (dent n°40),
- des inserts diamantés de 2^{ème} génération gros grains et grains fins (dent n°39 et 45),
- des inserts diamantés grains fins, de 1^{ère} et de 2^{ème} génération (dents n°42 et 44),
- des inserts diamantés gros grains de 1^{ère} et de 2^{ème} génération (dent n°41 et 43).

L'expérimentation est réalisée par un praticien, sur 7 dents.

La première étape consiste à réaliser une préparation périphérique selon un protocole classique, la ligne de finition obtenue étant un congé 1/4 de rond.

La deuxième à aménager la limite par les ultrasons.

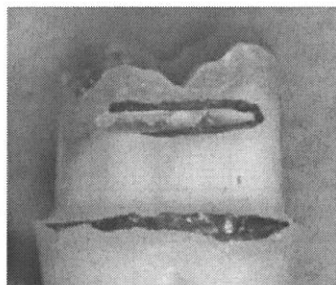
- Dent n°39 : les faces vestibulaire et linguale: sont aménagées sur la moitié de la limite (partie mésiale) avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération gros grains et de l'autre moitié (partie distale) avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} génération grains fins, en prenant soins de laisser un petit îlot de limite non retouché aux ultrasons entre les deux, qui servira de repère.
- Dents n°40 et 41 : idem dent n°39 avec insert de 2^{ème} génération gros grains (partie mésiale) et insert de 2^{ème} génération grains fins (partie distale).
- Dent n°42: idem dent n°39, avec les inserts de 2^{ème} génération gros grains (partie mésiale) et les inserts de 1^{ère} génération gros grains (partie distale).
- Dent n°43 : face vestibulaire préparée avec un insert de 2^{ème} génération gros grains, face linguale préparée avec un insert de 1^{ère} génération gros grains.
- Dent n° 44 : idem dent n°39, avec les inserts de 2^{ème} génération grains fins (partie mésiale) et les inserts de 1^{ère} génération grains fins (partie distale).
- Dent n°45 : face vestibulaire préparée avec un insert de 2^{ème} génération grains fins, face linguale préparée avec un insert de 1^{ère} génération grains fins.

b) Résultats

➤ Aménagement de la limite

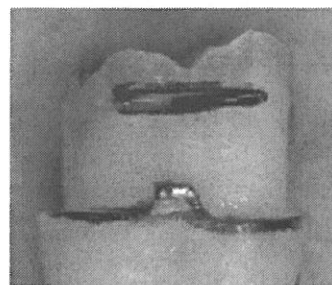
Dent	Face	Situation	Inserts	Temps	d	d'	d''	d' - d	d'' - d
N°39	Vestibulaire	mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,75	4		1,25	
		distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3		4,5		1,5
	Linguale	mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5	3,5		1	
		distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2,75		4		1,25
N°40	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GG	3 mn	3	3,5		0,5	
		distal	2 ^{ème} G GF	3 mn	3		4		1
	Linguale	mésial	2 ^{ème} G GG	3 mn	2	2,75		0,75	
		distal	2 ^{ème} G GF	3 mn	2,25		3,25		1
N°41	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GG	3mn	3	4		1	
		distal			2,75		3,5		1
	Linguale	mésial	2 ^{ème} G GF	3mn	2;5	3,25		0,75	
		distal			2,25		3,25		1
N°42	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GG	3 mn	2,5	3,5		1	
		distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5		3,5		1
	Linguale	mésial	2 ^{ème} G GG	3 mn	2,5	3,5		1	
		distal	1 ^{ère} G GG	3 mn	2,5		3,5		1
N°43	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GG	3 mn	3,25	4		0,75	
		distal			3,5		4,25		0,75
	Linguale	mésial	1 ^{ère} G GG	3 mn	2	3		1	
		distal			2		2,75		0,75
N°44	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GF	3 mn	2,5	3,25		0,75	
		distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	2,75		4		1,25
	Linguale	mésial	2 ^{ème} G GF	3 mn	2,25	3,5		1,25	
		distal	1 ^{ère} G GF	3 mn	3		3,75		0,75
N°45	Vestibulaire	mésial	2 ^{ème} G GF	3 mn	2,25	2,75		0,5	
		distal			2,75		3,5		0,75
	Linguale	mésial	1 ^{ère} G GF	3 mn	2	3		1	
		distal			2		3		1

➤ Aspect en Macrophotographie



Dent n°39

Face vestibulaire

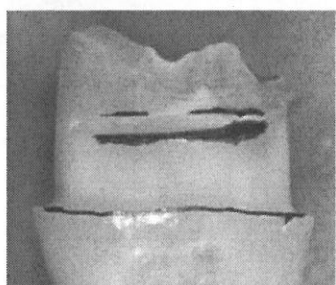


mésial

distal

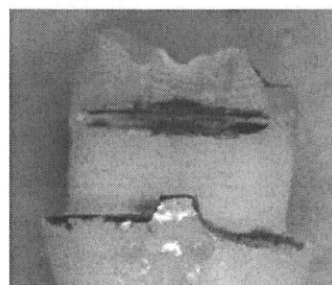
1^{ère} G.GG

1^{ère} G.GF



Dent n°39

Face linguale



mésial

distal

1^{ère} G.GG

1^{ère} G.GF

Dents n°40 à 45 : Cf. annexe.

c) Commentaires

Cette étude :

- confirme que les inserts de 1^{ère} et 2^{ème} génération grains fins usinent autant, voire plus, que les inserts gros grains, avec un usinage de l'ordre de 0,5 à 1,25 mm pour les inserts de 2^{ème} génération et de 0,75 à 1,5 mm pour ceux de 1^{ère} génération, contre des valeurs ne dépassant pas 1 mm pour les inserts gros grains de 1^{ère} et de 2^{ème} générations.
- ne confirme pas un meilleur usinage des inserts de 2^{ème} génération par rapport à ceux de 1^{ère} génération comme le montraient les expérimentations précédentes. Ceci s'explique certainement par le fait que les inserts de 2^{ème} génération utilisés faisaient partie d'un nouveau lot, qui présentait lui aussi de nombreux inserts de mauvaise qualité (spray absent et vibration insuffisante).

IV.2.2.6. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations gros grains et grains fins en utilisant la machine

a) But

Le but de cette expérimentation est d'étudier l'usinage des différents inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations en utilisant la machine.

Cela permet de comparer :

- les inserts entre eux, de manière reproductible, en utilisant la même pression, la même vitesse d'usinage, le même déplacement (direction et amplitude),
- les résultats d'usinage obtenus avec la machine à ceux obtenus par un opérateur.

L'expérimentation est réalisée sur 8 dents.

La première étape consiste à réaliser une préparation périphérique selon un protocole classique, la ligne de finition obtenue étant un congé 1/4 de rond.

On réalise un socle en résine de manière à pouvoir fixer la dent sur la machine.

La deuxième étape consiste à aménager la limite par les ultrasons.

Cet aménagement se fait sur une distance déterminée et constante pour chaque insert, pendant une minute.

Chaque insert est utilisé deux fois, d'abord avec un poids de 600 gr, puis de 1 000 gr.

b) Résultats

➤ **Aménagement de la limite**

Dent	Face	Poids	Inserts	Temps	d	d'	d' - d
N°46	A	600 gr	2 ^{ème} G GG	1,30 mn	2	2,5	0,5
	B	1 000 gr			2,5	3,5	1
	C	600 gr	1 ^{ère} G GG	1,30 mn	2,5	3,5	1
	D	1 000 gr			2,5	4	1,5
N°47	A	600 gr	2 ^{ème} G GG	1,30 mn	3	4	1
	B	1 000 gr			3	3,5	0,5
	C	600 gr	1 ^{ère} G GG	1,30 mn	3	4	1
	D	1 000 gr			3,5	4,25	0,75
N°48	A	600 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	3	4	1
	B	1 000 gr			3	4 à 4,5	1 à 1,5
	C	600 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	2,5	3,5	1
	D	1 000 gr			2,5	3,5	1

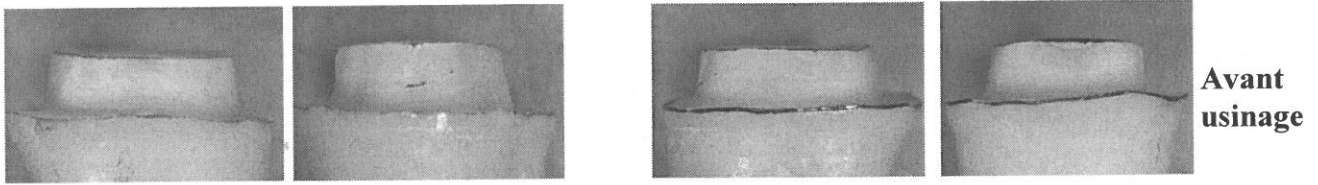
N°49	A	600 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	2,75	4,25	1,5
	B	1 000 gr			2,75	4,25	1,5
	C	600 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	3	4 à 4,5	1 à 1,5
	D	1 000 gr			2,5	3,5	1
N°50	A	600 gr	1 ^{ère} G GG	1,30 mn	2,5	3 à 3,25	0,5 à 0,75
	B	1 000 gr			2,5	3,5 à 3,75	1 à 1,25
	C	600 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	2,5	4 à 4,5	1,5 à 2
	D	1 000 gr			2,5	4,25	1,75
N°51	A	600 gr	1 ^{ère} G GG	1,30 mn	2,5	3 à 3,5	0,5 à 1
	B	1 000 gr			2,5	4	1,5
	C	600 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	2,25		
	D	1 000 gr			2,25	3,25	1
N°52	A	600 gr	2 ^{ème} G GG	1,30 mn	2,25	3,25	1
	B	1 000 gr			2	2,5	0,5
	C	600 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	2	2,5	0,5
	D	1 000 gr			2,25	3	0,75
N°53	A	600 gr	2 ^{ème} G GG	1,30 mn	2,5	3,25	0,75
	B	1 000 gr			3,25	4	0,75
	C	600 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	3	4	1
	D	1 000 gr			3	4	1

Les résultats de cette expérimentation montrent que :

- les inserts de 1^{ère} génération usinent d'avantage que les inserts de 2^{ème} génération et ce quelle que soit la taille des grains de diamants. Le gain d'usinage est de l'ordre de 0,25 mm pour les gros grains et de 0,5mm pour les grains fins,
- les inserts grains fins usinent mieux que les inserts gros grains et ce quel que soit le type d'insert. Le gain d'usinage est de l'ordre de 0,5 mm pour les inserts de 1^{ère} génération et de 0,25 mm pour ceux de 2^{ème},
- la pression exercée sur l'insert (600 ou 1000 gr) ne semble pas avoir d'incidence majeure sur l'usinage,
- les inserts grains fins usinent autant voire plus que les inserts gros grains. Ils sont en accord avec ceux obtenus par usinage manuel.

Par contre ce mode d'usinage (vitesse et position d'usinage) semble mieux convenir aux inserts de 1^{ère} génération qui sont plus efficaces que ceux de 2^{ème} génération. Ceci va à l'encontre des résultats obtenus par usinage manuel qui montraient une efficacité équivalente voire meilleure des inserts de 2^{ème} génération. Ceci est certainement en rapport avec la pression exercée sur l'insert.

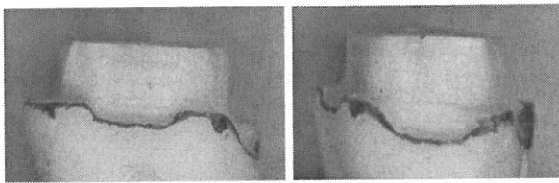
➤ Aspect en Macrophotographie



2^{ème} G GG

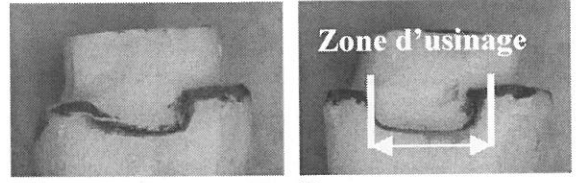
Dent n°46

1^{ème} G GG



A

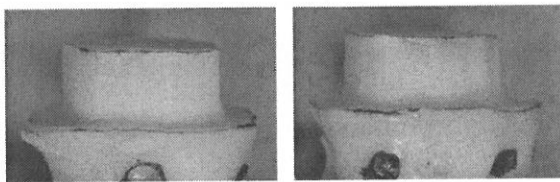
B



C

D

Après usinage

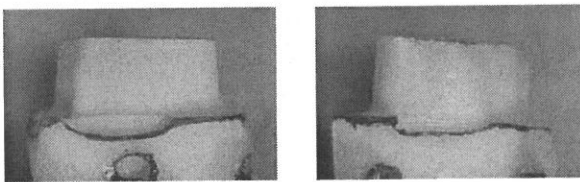


2^{ème} G GG

Dent n°47

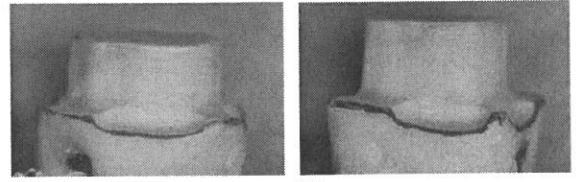
1^{ème} G GG

Avant usinage



A

B



C

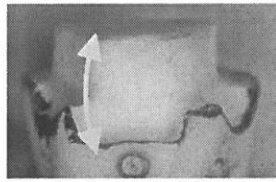
D

Après usinage

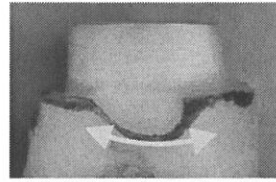
Dents 48 à 53 :Cf. annexes

c) Commentaires

Les observations en macrophotographie confirment un meilleur usinage des inserts de 1^{ère} génération, tant sur le plan quantitatif (usinage plus important) que qualitatif (usinage plus régulier et plus net). Ce défaut avait déjà été mis en évidence lors de l'usinage manuel, mais de manière moins évidente. Il avait été émis que ce phénomène était certainement en rapport avec le mode de vibration différent des inserts. La différence que l'on peut observer entre l'usinage manuel et l'usinage avec la machine s'explique certainement par la compensation et la correction que l'on peut effectuer manuellement après observation de l'irrégularité d'usinage.



1^{ère} G GF



2^{ème} G GF

Ces deux images confirment la différence du mode de vibration entre les deux inserts. Mode plutôt en percussion pour les inserts de 1^{ère} génération et plutôt en balayage pour les inserts de 2^{ème} génération.

IV.2.2.7. Comparaison de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations grains fins, utilisés sur machine et manuellement par trois opérateurs différents

a) But

Le but de cette expérimentation est de comparer l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations grains fins obtenu sur machine à celui obtenu par usinage manuel. L'expérimentation est effectuée par trois opérateurs différents sur 12 dents. L'avantage d'utiliser trois praticiens différents permet d'avoir une idée objective de l'utilisation de ces inserts dans des conditions cliniques.

La première étape consiste à réaliser une préparation périphérique selon un protocole classique, la ligne de finition obtenue étant un congé 1/4 de rond. La deuxième à réaménager la limite en utilisant les inserts ultrasonores. Chaque praticien travaillera sur une face, la machine utilisant la dernière. Cet aménagement se fait sur une distance déterminée et constante pour chaque insert, pendant une minute trente.

b) Résultats

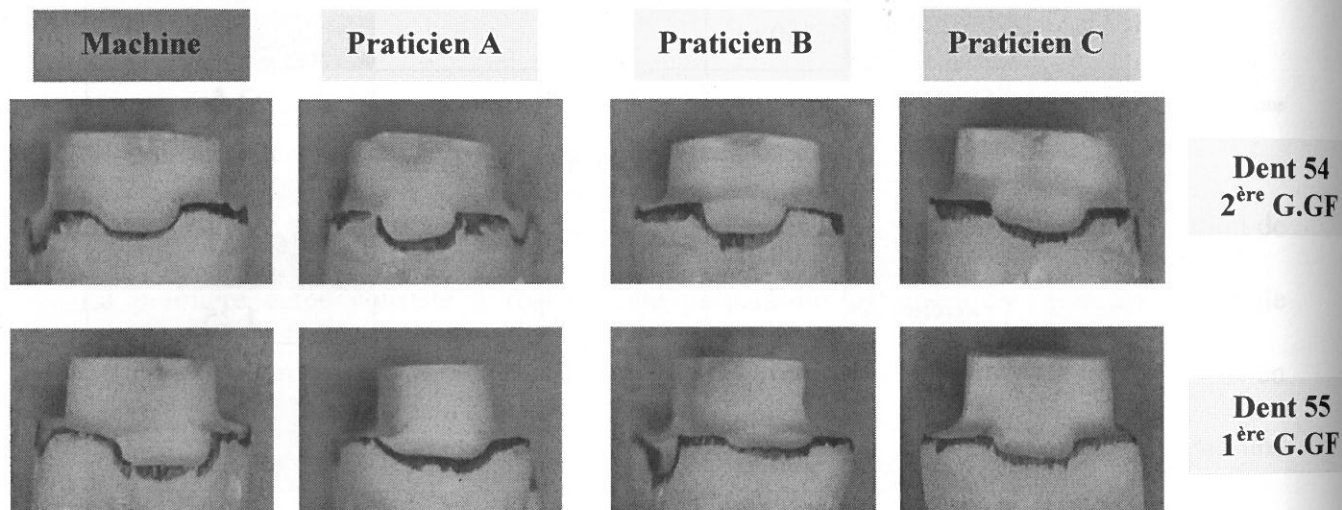
➤ **Aménagement de la limite**

Dent	Usinage	Poids	Inserts	Temps	d'-d
N°54	Praticien A	1 000 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				1,25
	Praticien C				0,75
	Machine				1
N°55	Praticien A	1 000 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				0,5
	Praticien C				1
	Machine				1,5

N°56	Praticien A	400 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	1,25
	Praticien B				0,75
	Praticien C				0,75
	Machine				1
N°57	Praticien A	400 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				1
	Praticien C				1
	Machine				1,5
N°58	Praticien A	200 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				1,25
	Praticien C				1,75
	Machine				2
N°59	Praticien A	200 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1,5
	Praticien B				1
	Praticien C				1,25
	Machine				2
N°60	Praticien A	200 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	1,25
	Praticien B				1
	Praticien C				1,25
	Machine				1
N°61	Praticien A	200 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	1,5
	Praticien B				1
	Praticien C				0,75
	Machine				1
N°62	Praticien A	200 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	0,75
	Praticien B				1
	Praticien C				1
	Machine				0,75
N°63	Praticien A	200 gr	2 ^{ème} G GF	1,30 mn	1,25
	Praticien B				1
	Praticien C				1
	Machine				1,25

N°64	Praticien A	200 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				1
	Praticien C				0,75
	Machine				1,5
N°65	Praticien A	200 gr	1 ^{ère} G GF	1,30 mn	1
	Praticien B				0,75
	Praticien C				1
	Machine				1,25

➤ Aspect en Macrophotographie



c) Commentaires

Si l'on considère l'usinage sur machine, les résultats montrent que :

- concernant les inserts de 1^{ère} génération, les meilleurs usinages sont obtenus avec la charge la moins importante (200 gr), de l'ordre de 2 mm avec un écart de 0,5 mm. Cela laisse supposer que l'excès de poids diminue l'efficacité de la vibration,
- concernant les inserts de 2^{ème} génération, l'usinage est identique quelle que soit la charge, de l'ordre de 1 mm. Le poids ne semble pas, dans ce cas, modifier ni dans un sens ni dans l'autre l'efficacité de la vibration,
- l'écart maximum d'usinage entre les deux types d'inserts est de l'ordre de 1mm en faveur des inserts de 1^{ère} génération.

Si l'on considère l'usinage manuel, les résultats montrent que :

- **l'efficacité de l'usinage des inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations est légèrement variable en fonction du praticien.** Elle semble donc être influencée par la pression exercée par l'opérateur, par l'orientation donnée à l'insert, ainsi que par la vitesse d'usinage. En effet aucune consigne d'utilisation n'avait été donnée aux praticiens qui ont travaillé en fonction de leur sens tactile,
- l'usinage manuel donne des résultats inférieurs à celui obtenu avec la machine dans le cas des inserts de 1^{ère} génération,
- par contre il donne de meilleurs résultats dans le cas des inserts de 2^{ème} génération.

Cette expérimentation semble prouver que la machine optimise les résultats des inserts de 1^{ère} génération, qui sont meilleurs que ceux obtenus par les différents praticiens. Par contre elle n'optimise pas ceux des inserts de 2^{ème} génération, qui sont moins bons que ceux obtenus manuellement par différents praticiens. Cela prouve que les inserts ne réagissent pas de la même façon en terme de vibration sur la machine et manuellement. Même si la machine devait nous permettre une comparaison objective des différents inserts, il n'en demeure pas moins qu'elle ne peut remplacer le sens tactile qui permet à l'opérateur de contrôler la vibration de l'insert et de ne pas la bloquer. **Elle donne donc des résultats qui ne sont pas représentatifs d'une utilisation manuelle et donc clinique.**

CHAPITRE V

**ETAT DE SURFACE DE LA LIGNE DE FINITION APRES
USINAGE PAR LES ULTRASONS**

INTRODUCTION

V.1. OBSERVATION DES ETATS DE SURFACE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

V.2. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE MECANIQUE

V.3. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE OPTIQUE (reconstruction 3D des surfaces)

V.3.1. Etats de surface obtenus à la fraise

V.3.2. Etats de surface obtenus avec les inserts diamantés

- V.3.2.1. Insert de 1^{ère} génération gros grains (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.2. Insert de 1^{ère} génération gros grains + grains fins (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.3. Insert de 1^{ère} génération grains fins (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.4. Insert de 2^{ème} génération gros grains (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.5. Insert de 2^{ème} génération gros grains + grains fins (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.6. Insert de 2^{ème} génération grains fins (force appliquée 160 gr)
- V.3.2.7. Influence de la pression exercée par le dispositif : Inserts de 2^{ème} génération grains fins (force appliquée 340 gr)
- V.3.2.8. Insert de 2^{ème} génération, grains fins, préparation manuelle de la dent

V.3.3. Interprétation des résultats

- V.3.3.1. Zones et direction des mesures
- V.3.3.2. Tableau récapitulatif des différents paramètres de rugosité
- V.3.3.3. Commentaires

INTRODUCTION

Comme nous l'avons décrit précédemment, l'étape ultime d'une préparation est constituée par le polissage. Cette étape ne revêt pas la même importance en fonction de la zone de la préparation à laquelle on s'adresse. S'il est clair que la ligne de finition doit être polie avec le plus d'attention possible, il n'en est pas de même de la paroi axiale.

En effet, la ligne de finition occupe une position stratégique, puisque c'est à son niveau que va se faire la jonction entre l'artifice prothétique et la dent, par l'intermédiaire du film de ciment. La pérennité d'une reconstruction prothétique fixée dépend en grande partie de la qualité de cette jonction, qui est en général localisée au voisinage du contour gingival, voire à l'intérieur du sulcus. La présence d'une jonction ouverte (hiatus), d'un surplomb, de la persistance de surfaces rugueuses, irritent directement ou indirectement l'attache épithéliale et favorisent la rétention de plaque dentaire avec des conséquences inflammatoires néfastes sur le parodonte superficiel et profond. Cette jonction doit être étanche pour préserver la santé du complexe dentino-pulpaire de toute agression par percolation. Elle sera d'autant plus vulnérable que le joint de ciment ou de colle exposé, assurant la jonction entre limite et prothèse, sera important.

Le hiatus dento-prothétique a été étudié par de nombreux auteurs et il semble qu'un hiatus de l'ordre de 70 à 90 μm soit acceptable. Or, on sait que le joint de ciment varie de manière constante entre 10 et 20 μm . L'obtention d'un état de surface de la ligne de finition le moins rugueux possible, associé à sa reproductibilité la plus précise possible, sont des étapes très importantes dans la chaîne prothétique amenant à un hiatus le plus faible possible.

Barety a montré que si une surface totalement lisse ne peut être reproduite fidèlement, des rugosités importantes sont à éviter en raison des bulles d'air qui peuvent être emprisonnées à leur niveau. Il convient donc pour obtenir une empreinte fidèle que la surface enregistrée soit une surface la plus lisse possible.

D'après Massironi, la rugosité idéale doit se situer entre 5 et 10 μm . Au dessous de telles valeurs, l'adhésion du ciment aux parois du moignon ne se fait pas et au dessus de 12 μm , il n'y a pas de diffusion homogène avec des risques de formation de lacunes.

Il est admis que, la capacité de reproduction des détails des substances à empreinte, notamment des élastomères se situe aux alentours de 20 μm (spécification n°19 ADA).²³ L'intérêt est donc d'obtenir un état de surface dont la rugosité serait voisine de cette valeur.

Le polissage des parois axiales est moins important, pour deux raisons :

- la première est que, sur le modèle de travail, ces parois seront recouvertes d'un vernis espaceur et que leur rugosité n'affectera pas l'intrados prothétique,
- la deuxième est que ces parois ont un rôle majeur dans la rétention des prothèses et en particulier dans la notion de micro-clavetage. Il n'y a donc aucune raison de trop les polir.

Le polissage se fait normalement en utilisant successivement des fraises dont le diamètre des diamants va en diminuant, de manière à réduire progressivement la taille des rainures occasionnées par le passage des gros grains. Ce polissage peut également faire intervenir des pointes en carbure de tungstène, des pierres d'Arkansas, des pointes en carbure de silice et enfin des « scalpels », sorte de ciseaux à émail, qui permettent d'obtenir une ligne de finition régulière, précise, avec une rugosité idéale de la surface dentaire⁵⁸.

Shillinburg et collaborateurs pensent qu'un épaulement préparé avec une fraise diamantée grains moyens, est trop rugueux pour permettre la fabrication d'une restauration correctement ajustée.

Zena et collaborateurs ont montré que l'ajustage des couronnes, mesuré par l'épaisseur du film de ciment, était meilleur quand le plancher de l'épaulement était aplani avec un instrument à main.

Price et Sutton, ont montré que des fraises en carbure de tungstène 30 lames, créaient une finition plus lisse au niveau de la dentine que des fraises en carbure de tungstène 12 lames ou des fraises diamantées fines ou super fines.

Wahle et collaborateurs ont reporté des différences significatives dans la rugosité de surface, de dents préparées avec des fraises diamantées de granulométries différentes.

Dans ces deux dernières études, la rugosité est créée par la surface axiale des instruments rotatifs et non par l'extrémité. Cette surface est l'image en négatif de la surface des fraises diamantées utilisées.

Bass et collaborateurs ont montré qu'une surface préparée avec des fraises diamantées gros grains, avait une rugosité (R_t) de l'ordre de $35 \mu\text{m}$. Après polissage par une fraise diamantée grains moyens, on obtenait une rugosité (R_t) de l'ordre de $20 \mu\text{m}$. Selon eux, cette rugosité est suffisante pour assurer une rétention convenable de l'élément scellé. Le ciment se loge dans les anfractuosités, sans modifier l'adaptation marginale et en stabilisant la restauration.

Ils décrivent la rugosité de la surface de l'épaulement, comme étant une succession de pics et de creux ou « peak and valley ». Selon eux, cette rugosité est enregistrée lors de l'empreinte et reproduite par le matériau de réplification au niveau du modèle de travail. Comme il est très difficile, voire impossible, de réencastrer les zones en pic de la surface coulée (intradoss prothétique) dans les zones en creux de la dent préparée, on se retrouve avec des pics qui font face à des pics. Donc, si la rugosité est de l'ordre de $30 \mu\text{m}$, on se retrouve avec un espace entre les creux de l'ordre de $60 \mu\text{m}$. Comme l'épaisseur du film de ciment est de l'ordre de $20 \mu\text{m}$, on obtient une distance entre les creux de $80 \mu\text{m}$, d'où, selon eux, l'intérêt de contrôler l'état de surface dès le polissage afin qu'il soit le plus lisse possible. Ils utilisent pour se faire des fraises à finir en carbure de tungstène qui produisent une surface lisse, dont la rugosité se situe aux alentours de $5 \mu\text{m}$.

Laufer et collaborateurs ont étudié la rugosité de surface d'épaulements préparés à l'aide de fraises diamantées, gros grains, grains fins et grains très fins. Pour chaque grain de diamant, ils ont ensuite retravaillé l'épaulement à l'aide d'instruments à mains (ciseau à émail) ou d'inserts diamantés à extrémité plate, grains fins, reliés à un générateur ultrasonore.

Les résultats obtenus montrent que:

- la rugosité de surface des épaulements préparés avec les fraises diamantées de différents grains, n'est pas significativement différente,
- l'utilisation d'instruments à main ne modifie pas significativement la rugosité,
- l'utilisation des ultrasons augmente la rugosité,
- après observation des limites en Microscopie Electronique à Balayage, il n'y a pas de différences qualitatives, entre la rugosité des surfaces préparées avec les fraises diamantées gros grains, grains fins et extra fins et celles préparées avec les instruments à main,
- par contre des rayures profondes ont été enregistrées à la surface des épaulements préparées avec les ultrasons,
- l'épaulement le plus lisse est développé par des fraises diamantées sans traitement additionnel.

Comme nous l'avons déjà exposé dans le chapitre « Matériel et Méthodes », Massironi a également travaillé sur les inserts ultrasonores diamantés, en collaboration avec la société Komet Italie, ainsi que sur l'état de surface occasionné par le passage de tels instruments. Il a montré que des inserts ultrasonores de granulométrie de l'ordre de 100 μm , pouvaient avoir une action très abrasive à la fréquence maximum, avec une rugosité de l'ordre de 14,1 μm , puis une action de polissage dès lors que l'on diminuait la fréquence de vibration, pour obtenir une rugosité de l'ordre de 9,7 μm . Cette rugosité était voisine de celle obtenue par une fraise bague rouge (granulométrie 30 μm), qui donne une rugosité de 9,2 μm ou d'un « scalpel », qui donne une rugosité de l'ordre de 7,2 μm .

V.1. OBSERVATIONS DES ETATS DE SURFACE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB)

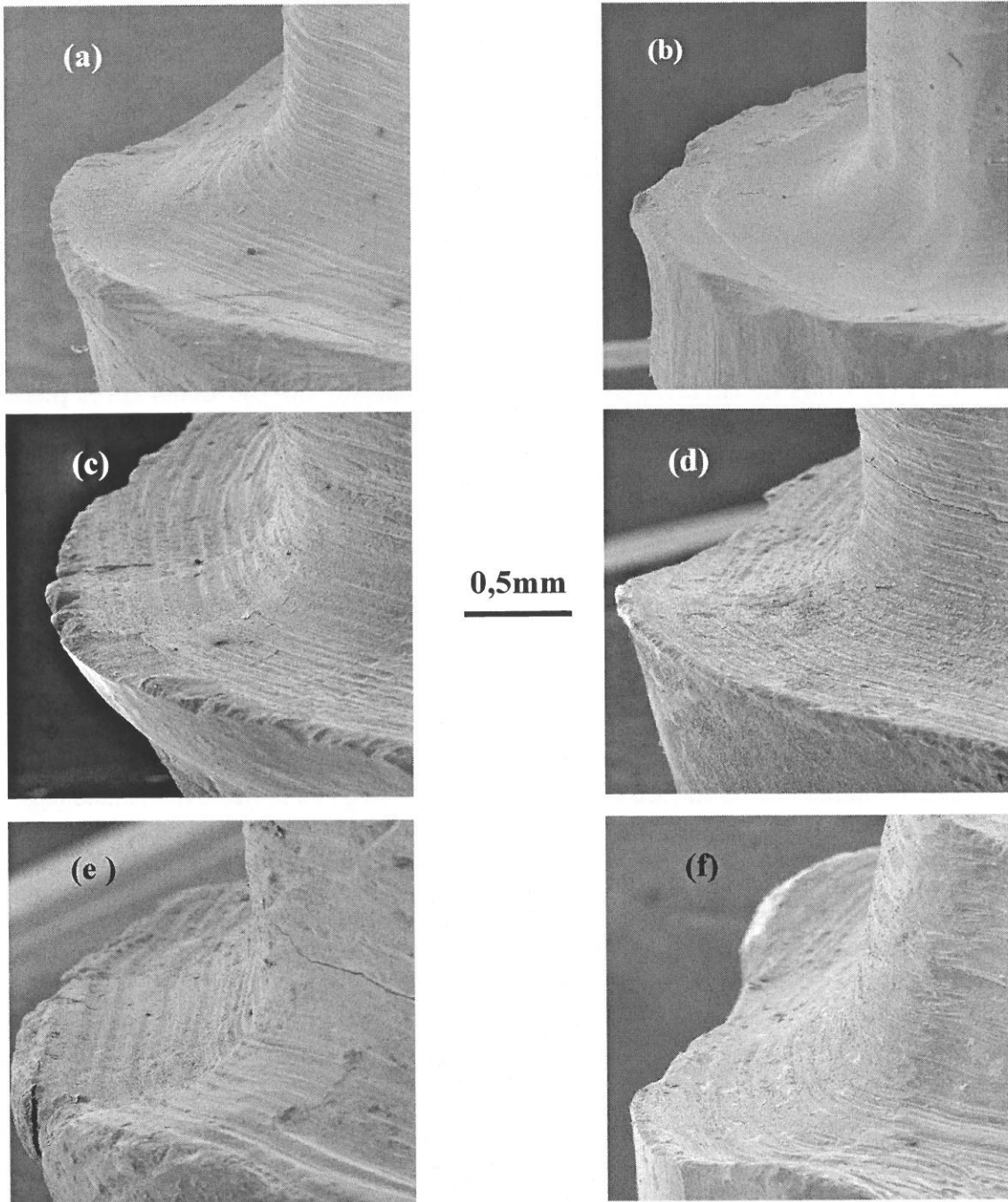


Figure V.1 : Etats de surfaces des épaulements réalisés sur des dents, après passage des fraises diamantées et des inserts ultrasonores diamantés

- (a) Fraise bague verte, (b) fraise bague verte + bague rouge**
- (c) Fraises bague verte + Insert de 1^{ère} génération gros grains, (d) Fraises bague verte + Inserts de 1^{ère} génération gros grains + grains fins**
- (e) Fraises bague verte + Insert de 2^{ème} génération gros grains, (f) Fraises bague verte + Inserts de 2^{ème} génération gros grains + grains fins**

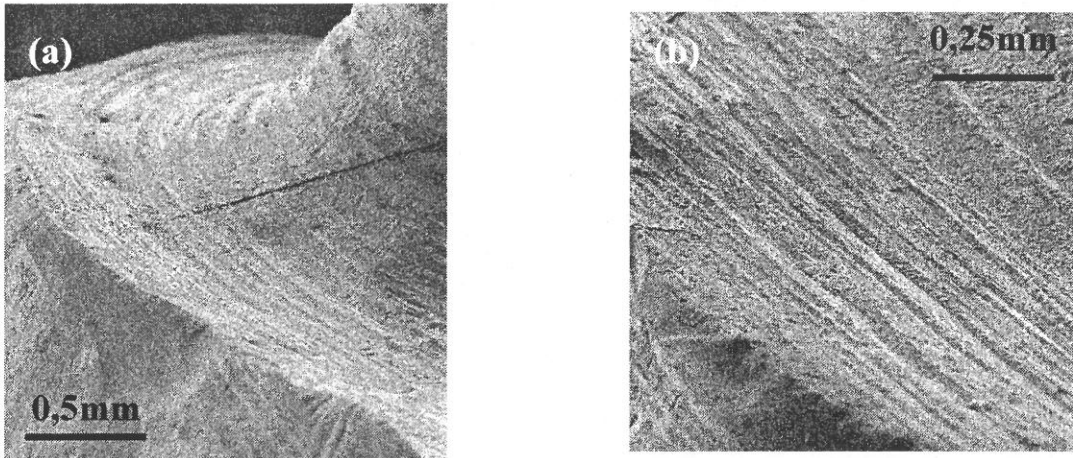


Figure V.2 : (a) Etats de surfaces des épaulements réalisés sur des dents après passage de la fraise bague verte et repositionnement de l'épaulement avec les inserts ultrasonores de 2^{ème} génération grains fins uniquement (b) détails

Ces observations permettent de faire quelques constatations :

- l'état de surface occasionné par le passage des inserts ultrasonores diamantés est très caractéristique, et constitué des rainures parallèles entre elles, dont le diamètre varie en fonction de la taille des diamants,
- l'état de surface occasionné par le passage des fraises bague verte puis bague rouge est plus lisse que celui occasionné par le passage des inserts ultrasonores de 1^{ère} ou de 2^{ème} générations,
- le passage des inserts ultrasonores de 1^{ère} et de 2^{ème} générations gros grains, de part leur action abrasive, élimine l'état de surface occasionné par le passage de la fraise diamantée bague verte,
- le passage des inserts ultrasonores grains fins après celui des gros grains ne semble pas améliorer l'état de surface engendré par les premiers, il diminue légèrement la largeur des rainures.

Les observations à plus fort grossissement de l'état de surface créé par les fraises diamantées et les inserts ultrasonores diamantés mettent en évidence des différences importantes liées au mode de fonctionnement des différents instruments diamantés (Fig. V.3 à V.5).

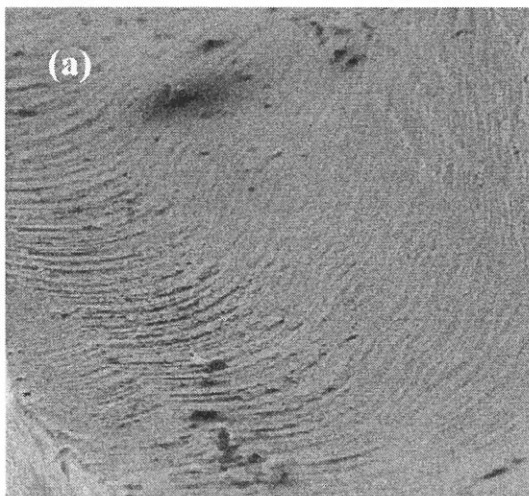


Fig V.3 (a)

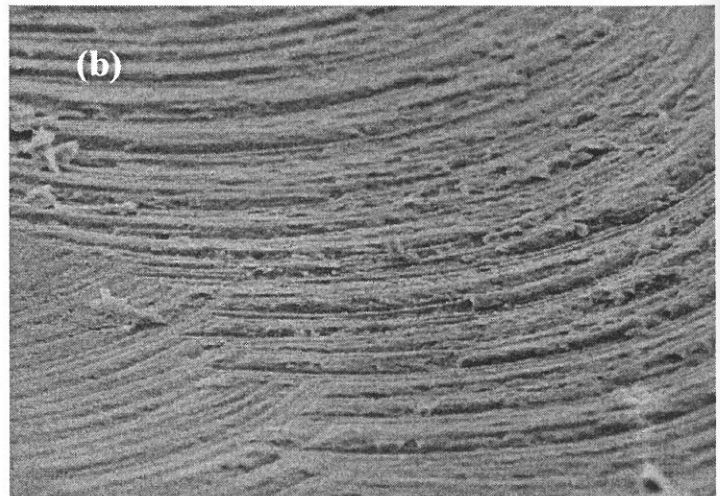


Fig V.3 (b)

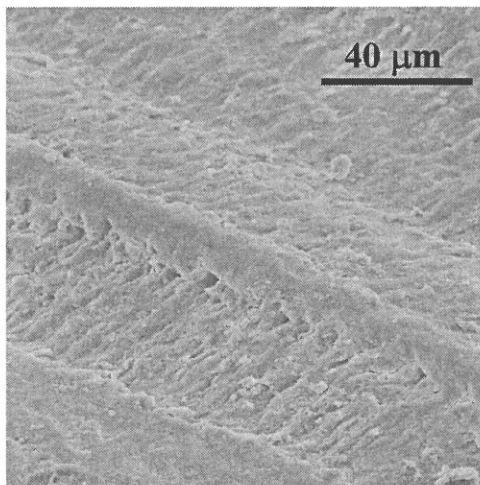


Fig V.4 (a)

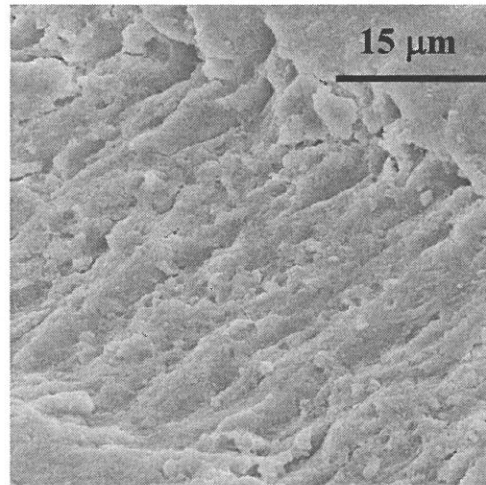
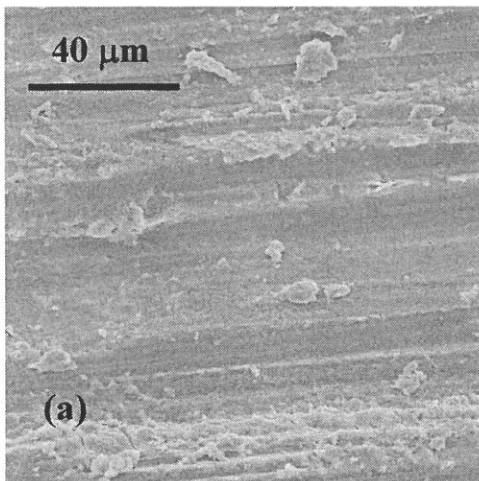


Fig V.4 (b)

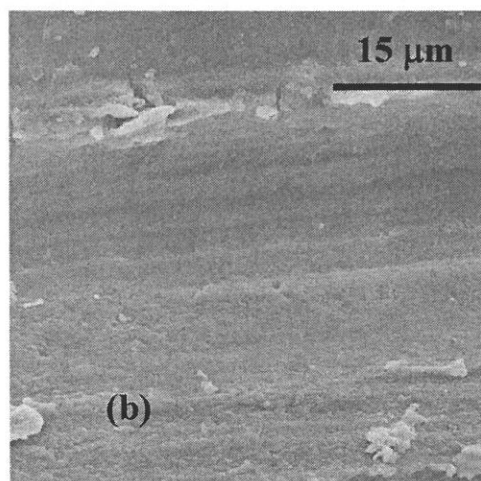
Figure V.3 : (a) : Surface de la dentine après passage des fraises diamantées bague verte puis bague rouge
(b) : Détail d'une zone, précisant le mode d'action de l'instrument

Figure V.4 : (a) : Surface de la dentine après un usinage avec un insert de 2^{ème} génération, gros grains
(b) : Détail d'une zone précisant le mode de vibration (ordre 3), l'amplitude est de l'ordre de 10 µm

Cette étude en MEB permet de comprendre le mode de fonctionnement des inserts ultrasonores diamantés. A faible grossissement, on observe des rainures dont la largeur varie en fonction de la taille des diamants (rugosité d'ordre 1 et 2), parallèles entre elles dans le sens de déplacement de l'insert. A plus fort grossissement (Fig. V.4 a et b), on observe l'apparition au sein même des rainures, de rainures secondaires perpendiculaires aux premières (rugosité d'ordre 3), qui sont liées au mode de vibration de l'insert. L'amplitude est de l'ordre de 10 µm.



(a)



(b)

Figure V.5 : (a) surface de la dentine après passage d'un insert de 2^{ème} génération, gros grains suivis d'un passage avec les grains fins
(b) détail

Le passage de l'insert grains fins après l'insert gros grains permet d'atténuer légèrement les rugosités d'ordre 1 et 2 et d'éliminer la rugosité d'ordre 3 (Figures V.5 a et b).

Ces observations permettent de faire une analyse qualitative de l'état de surface, mais pas de la quantifier. Si l'on veut quantifier la rugosité, il est nécessaire de faire de la profilométrie.

V.2. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE MECANIQUE

Pour faire cette étude au profilomètre mécanique, nous avons réalisé des rainures dans de la dentine à l'aide des inserts diamantés de 1^{ère} et de 2^{ème} générations, ainsi qu'avec des fraises bagues verte et rouge. Pour ce faire, nous avons inclus des Prémolaires dans de la résine, puis nous avons meuler les blocs en résine jusqu'à la dentine. Ces blocs ont ensuite été polis, puis fixés sur la platine (Fig. V.6).

Les rainures faites avec les inserts l'ont été, sur la machine avec un poids de l'ordre de 400gr, pendant 1 minute, afin de laisser une empreinte de l'ordre de 200 μm de profondeur. Au-delà de cette profondeur, il n'était plus possible d'utiliser le profilomètre mécanique pour faire la mesure. L'empreinte ou le sillon laissé par l'insert était de l'ordre du mm en largeur sur une longueur de 5 mm environ.

Les préparations à la fraise ont été faites manuellement, en essayant de respecter les mêmes critères que pour les inserts.

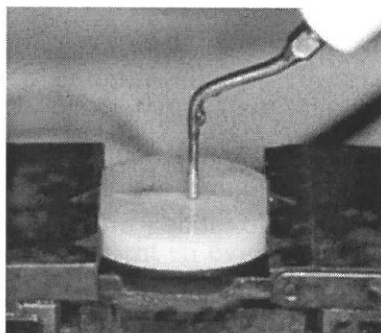


Figure V.6 : Positionnement des échantillons pour réaliser les rainures de profilométries

Le profilomètre mécanique ne permet pas d'accéder aux rugosités d'ordre 3 (Figure V.4 b). Les profils ont été enregistrés dans le sens transverse à la rainure (ou sens transverse par rapport à l'usinage) dans le cas de tous les inserts et dans le sens de l'usinage pour les préparations à la fraise.

Dans le cas des préparations avec les inserts, l'objectif était de mesurer la rugosité en fond de rainure.

Dans le cas des préparations à la fraise, le mouvement rotatif de la fraise entraîne une rugosité plus importante dans l'axe de l'usinage et non perpendiculairement, comme dans le cas de l'usinage avec les inserts.

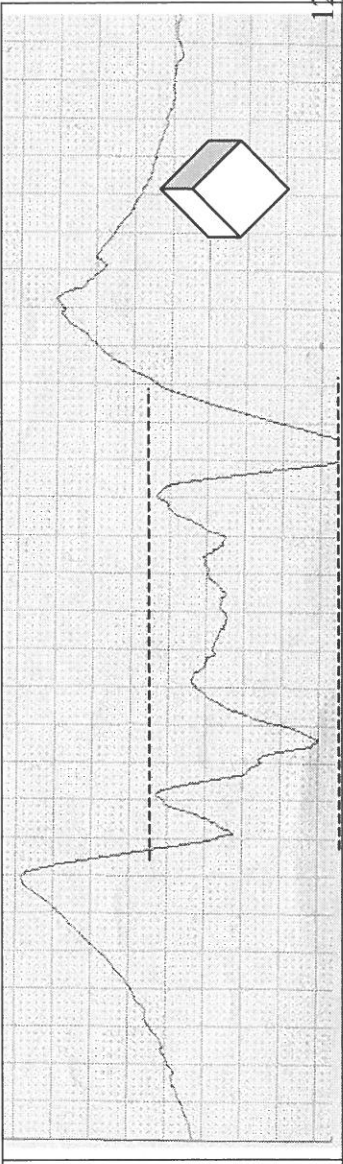
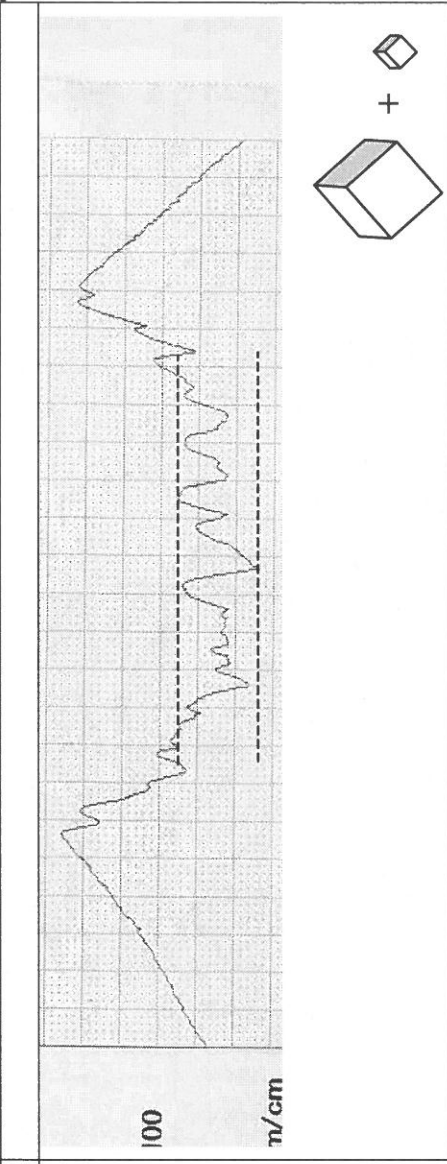
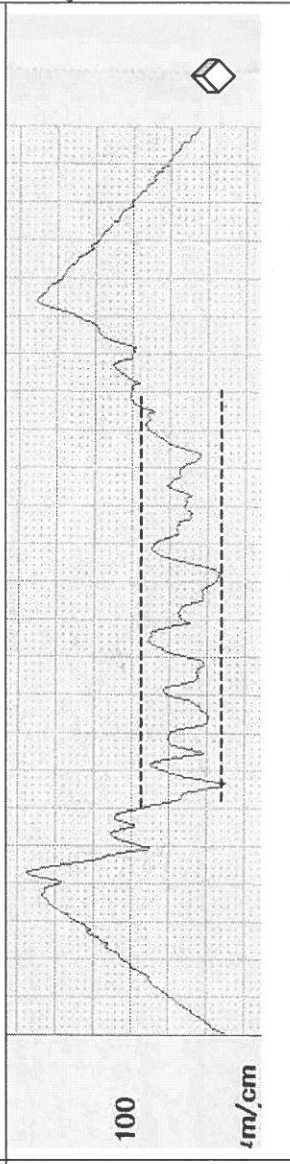
Compte tenu de la faible largeur de la rainure ($< 1\text{mm}$), il a été difficile d'exploiter les résultats des mesures des paramètres de profilométrie (R_a , R_z ,...) (tableau V.1 et Fig V.7). Pour cela, nous avons mesuré, sur les profils enregistrés, la valeur de R_t qui représente l'amplitude des rainures entre les pics et les vallées.

De ces mesures, il ressort que (Tableau V.1):

- les rugosités obtenues avec la fraise bague verte ou bague verte puis rouge, sont meilleures, dans tous les cas à celles obtenues avec les inserts ultrasonores de 1^{ère} ou de 2^{ème} génération,
- si l'on considère la rugosité exprimée en R_t de la dent n°2 (1^{ère} G.GG + GF) de l'ordre de $35\ \mu\text{m}$, celui de la dent n°5 (2^{ème} G.GG + GF) de l'ordre de $22\ \mu\text{m}$ et celui de la dent n°8 (fraise bague verte + rouge) de l'ordre de $8\ \mu\text{m}$, on se rend compte qu'elle est multipliée par trois et quatre pour les inserts ultrasonores par rapport aux fraises. Les inserts ultrasonores créent donc un état de surface plus anfractueux,
- par contre, si l'on considère la rugosité exprimée en R_a de la dent n°2 (1^{ère} G.GG + GF) de l'ordre de $4,3\ \mu\text{m}$, celui de la dent n°5 (2^{ème} G.GG + GF) de l'ordre de $11,2\ \mu\text{m}$ et celui de la dent n°8 (fraise bague verte + rouge) de l'ordre de $4,7\ \mu\text{m}$, on se rend compte que les écarts sont moins importants. Cela prouve que même si les fraises créent des anfractuosités moins profondes, elles sont certainement plus nombreuses qu'avec les inserts ultrasonores,
- si l'on compare maintenant, et toujours pour les mêmes dents, les états de surface engendrés par les inserts ultrasonores de 1^{ère} et de 2^{ème} générations, on se rend compte que les inserts de 2^{ème} génération donnent un état de surface plus régulier, moins anfractueux (R_t : $22\ \mu\text{m}$) que celui des inserts de 1^{ère} génération (R_t : $35\ \mu\text{m}$). Par contre la rugosité exprimée en R_a est favorable aux inserts de 1^{ère} génération ($4,3$ contre $11,2$), ce qui montre aussi que si l'état de surface est moins anfractueux, ces anfractuosités sont plus nombreuses,
- concernant les fraises, la séquence bague verte + bague rouge (gros grains + grains fins) permet d'abaisser de manière significative l'amplitude de la rugosité de surface (R_t) par rapport à la préparation bague verte (gros grains), ce qui n'est pas le cas avec la même séquence pour les inserts ultrasonores de 1^{ère} et de 2^{ème} générations.

Ces mesures nous conduisent cependant à poursuivre les caractérisations de manière plus fine avec les reconstructions 3D des surfaces avec le profilomètre optique de façon à s'affranchir de la taille du palpeur.

Type d'usinage	Paramètres d'usinage(μm)	Enregistrement du profil
Insert 1 ^{ère} G gros grains (Dents 1 et 1') R-PROFIL L=1.7mm ×500 → × 100	Ra 3,2 Rz 17,6 Rt 36 Rq 4,1 Rp 7,4	
Ver. : 20.0 μm/cm Hor. : 100.0 μm/cm Insert 1 ^{ère} G gros grains + grains fins (Dents 2 et 2')	Ra 4,3 Rz 21,6 Rt 35 Rq 5,3 Rp 11,8	
Insert 1 ^{ère} G grains fins (Dent 3)	Ra 4,4 Rz 20,7 Rt 32 Rq 5,3 Rp 11,8	

Insert 2 ^{ème} G gros grains (Dent 4)	5,7 32,5 60 7,7 16,4	
Insert 2 ^{ème} G gros grains + grains fins (Dent 5) R-PROFIL L=1.2mm x 500 Ver. 20.0 μm/cm Hor. 100.0 μm/cm ↑ x 100	Ra 11,2 Rz 51,9 Rt 22 Rq 13,0 Rp 25,7	
Insert 2 ^{ème} G gros grains fins (Dent 6)	11,4 52,8 22 13,3 27,4	

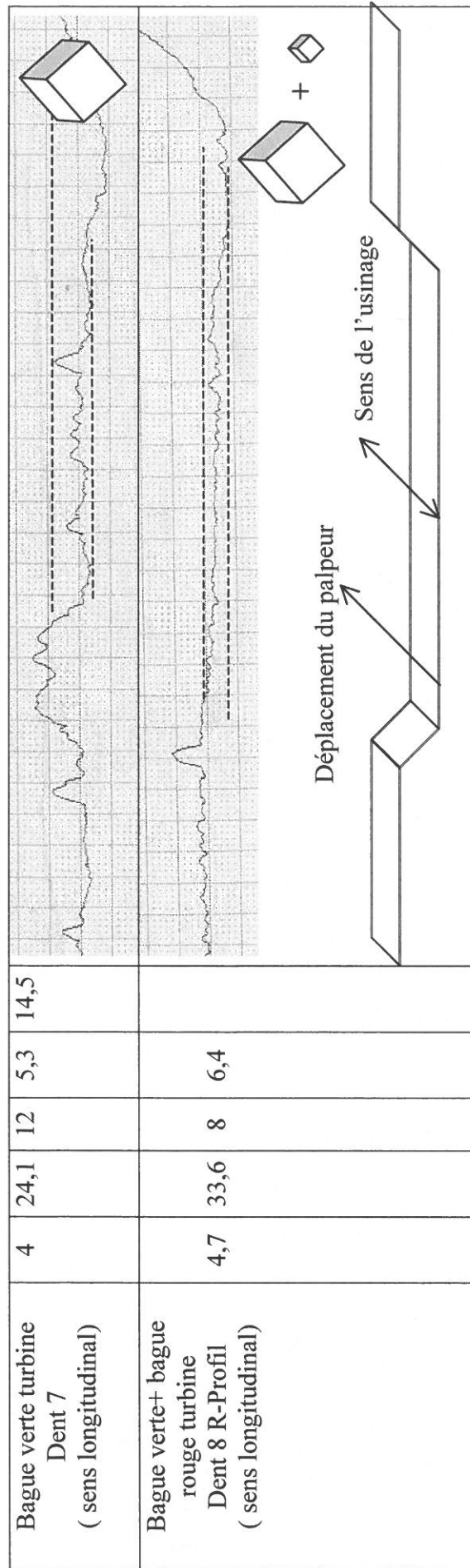


Tableau V.1: Profilométrie mécanique sur la dentine

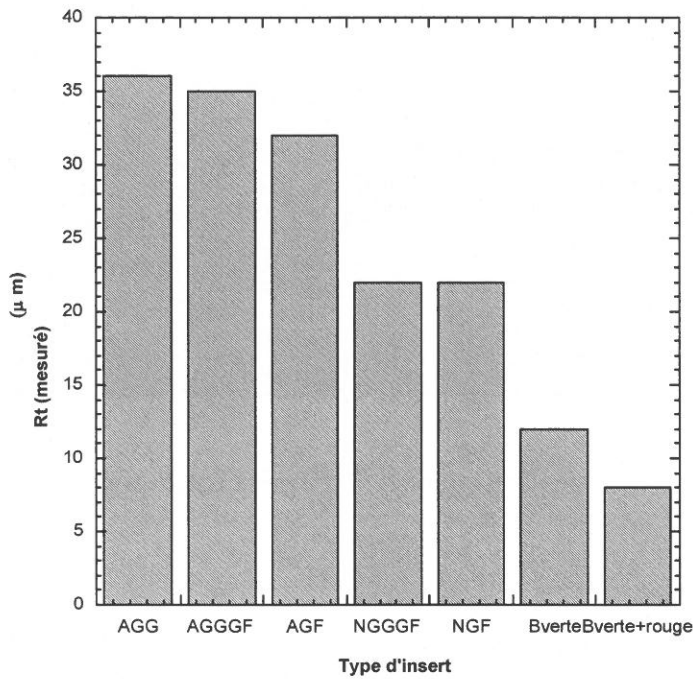


Figure V.7: Etude comparative des rugosités (Rt) issues des profils (Figure V.6) pour les différents types d'inserts

En sachant que le Rt représente l'écart maximum entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil, on se rend compte que la rugosité en terme de hauteur des défauts est toute à l'avantage des fraises, suivie par les inserts de 2^{ème} génération puis par ceux de 1^{ère} génération.

**V.3. ANALYSE DES SURFACES AU PROFILOMETRE OPTIQUE
(RECONSTRUCTIONS 3D DES SURFACES)**

V.3.1. ETATS DE SURFACE OBTENUS A LA FRAISE :

V.3.1.1. Fraise bague verte

Veeco 3-Dimensional Interactive Display Date: 02/04/20
Time: 09:59:47

Surface Stats:

Ra: 18.66 um

Rq: 22.16 um

Rt: 93.14 um

Measurement Info:

Magnification: 10.26

Measurement Mode: V

Sampling: 818.41 nm

Array Size: 736 X 480

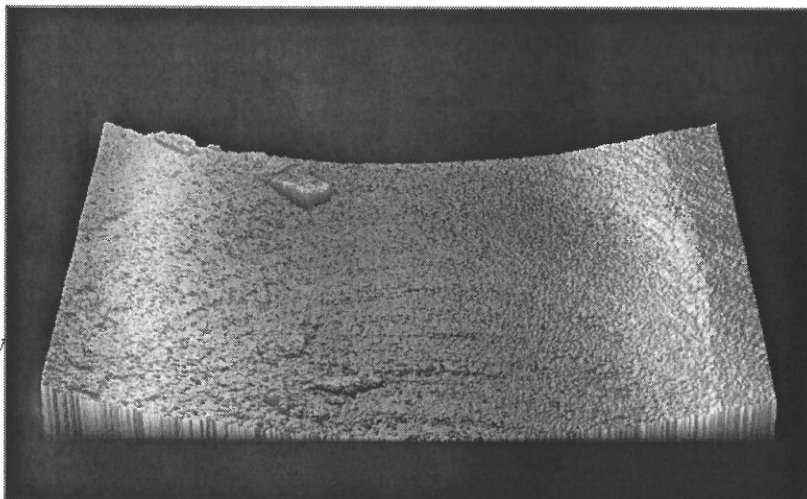
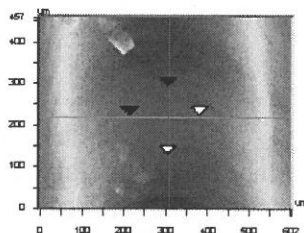


Figure V.8 : Image 3D de l'usinage de la dent N°7 (fraise bague verte)

Veeco



X	306.91	um
Y	220.63	um
Ht	-20.84	um
Dist		um
Angle		

Title:

Note:

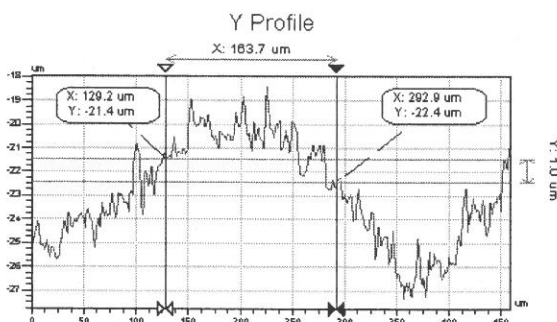
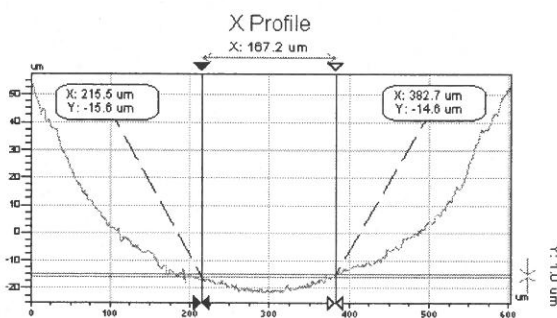


Figure V.9 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de la fraise (Y profile) et dans le sens transverse (X profile),
Dent N° 7 Bague Verte

V.3.1.2. Fraises bague rouge + bague verte

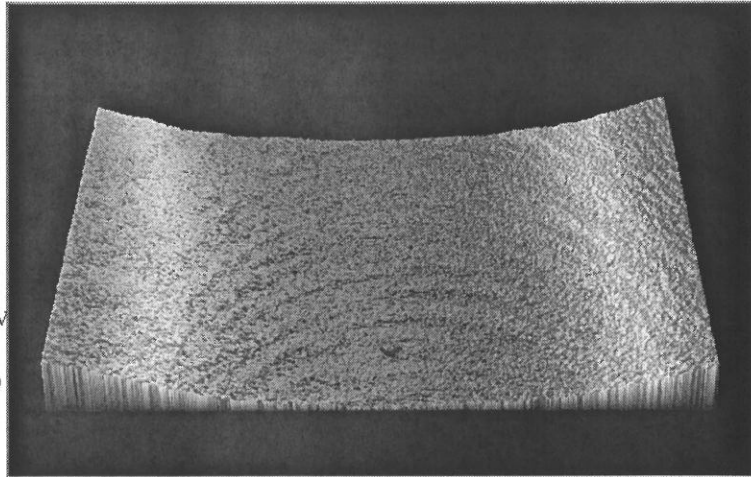
Veeco 3-Dimensional Interactive Display Date: 02/04/20
Time: 10:20:18

Surface Stats:

Ra: 18.04 um
Rq: 21.14 um
Rt: 82.20 um

Measurement Info:

Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480

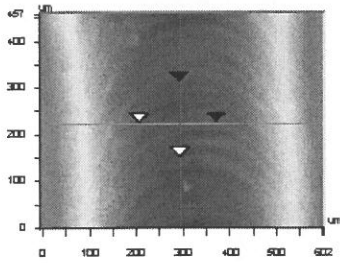


Title: retrait courbure'

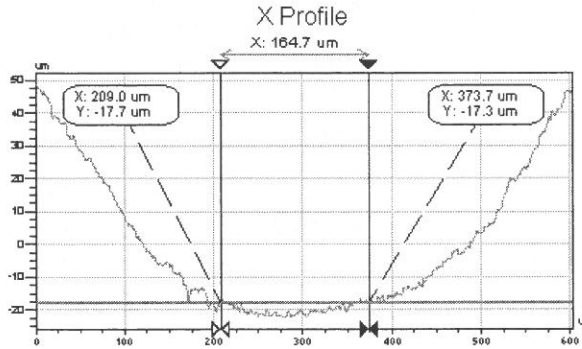
Note:

Figure V.10 : Image 3D de l'usinage de la dent N°8 (fraise bague verte+bague rouge)

Veeco

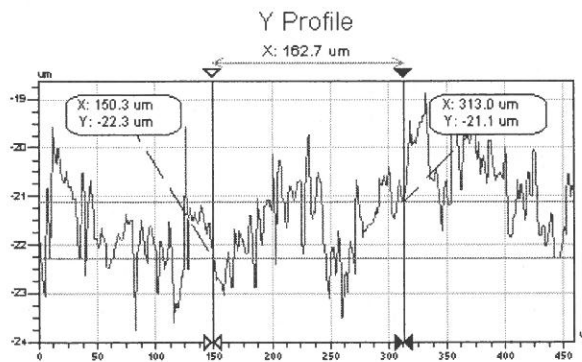


X	294.63	-	-	um
Y	223.49	-	-	um
Ht	-20.67	-	-	um
Dist		-	-	um
Angle		-	-	



Rq	1.45 um
Ra	1.24 um
Rt	5.68 um
Rp	-16.59 um
Rv	-22.27 um

Angle	2.83 mrad
Curve	0.81 mm
Terms	None
Avg Ht	-19.95 um
Area	-3281.38 um ²



Rq	0.79 um
Ra	0.65 um
Rt	3.79 um
Rp	-19.73 um
Rv	-23.52 um

Angle	7.19 mrad
Curve	-7.70 mm
Terms	None
Avg Ht	-21.61 um
Area	-3508.16 um ²

Title: retrait courbure'

Note:

Figure V.11 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de la fraise (Y profile) et dans le sens transverse (X profile)

Dent N° 8 Bague Verte+bague rouge

V.3.2. ETATS DE SURFACE OBTENUS AVEC LES INSERTS DIAMANTES :

V.3.2.1. Insert de 1^{ère} génération gros grain, Force appliquée de 160 gr (Dent N°1)

Surface Stats:

Ra: 125.58 um

Rq: 136.14 um

Rt: 410.65 um

Measurement Info:

Magnification: 2.59

Measurement Mode: VSI

Sampling: 3.24 um

Array Size: 736 X 480

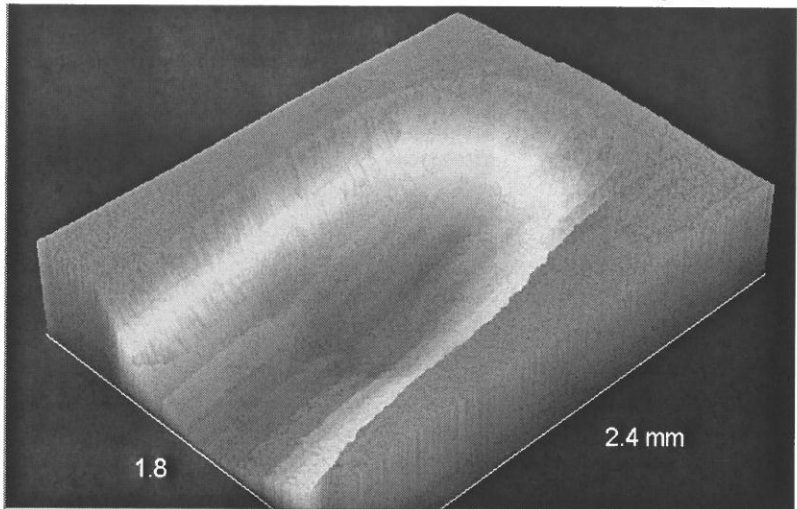


Figure V.12 (Insert de 1^{ère} génération gros grains), Image de l'ensemble de la rainure



3-Dimensional Interactive Display

Date: 03/11/20
Time: 14:17:51

Surface Stats:

Ra: 4.41 um

Rq: 5.10 um

Rt: 25.91 um

Measurement Info:

Magnification: 10.26

Measurement Mode: V

Sampling: 818.41 nm

Array Size: 736 X 480

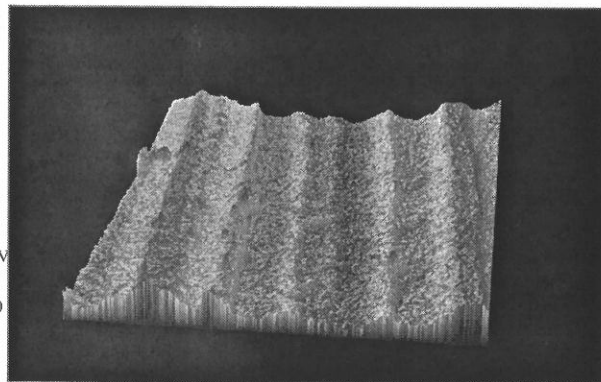
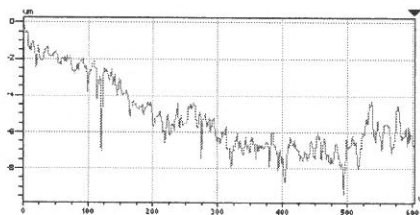


Image 3D du fond de la rainure

Title:
Note:



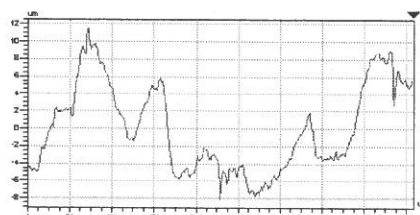
X Profile



Ra	1.94 um
Rq	1.62 um
Rz	6.18 um
Rv	-6.20 um
Rw	-9.39 um

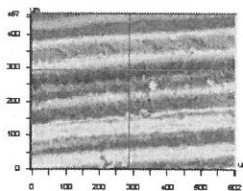
Angle	0.00 mmrad
Curve	14.80 mm
Time	None
Avg FR	-5.12 um
Area	-3123.84 um ²

Y Profile



Ra	5.92 um
Rq	4.38 um
Rz	19.76 um
Rv	11.54 um
Rw	-9.22 um

Angle	0.00 mmrad
Curve	2.82 mm
Time	None
Avg FR	0.00 um
Area	1.66 um ²



X	286.03	um
Y	295.12	um
FR	-5.82	um
Dist		um
Angle		

Title:
Note:

Figure V.13 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (X profile) et dans le sens transverse (Y profile)

V.3.2.2. Insert de 1^{ère} génération gros grains + grains fins (force appliquée 160 gr)



3-Dimensional Interactive Display

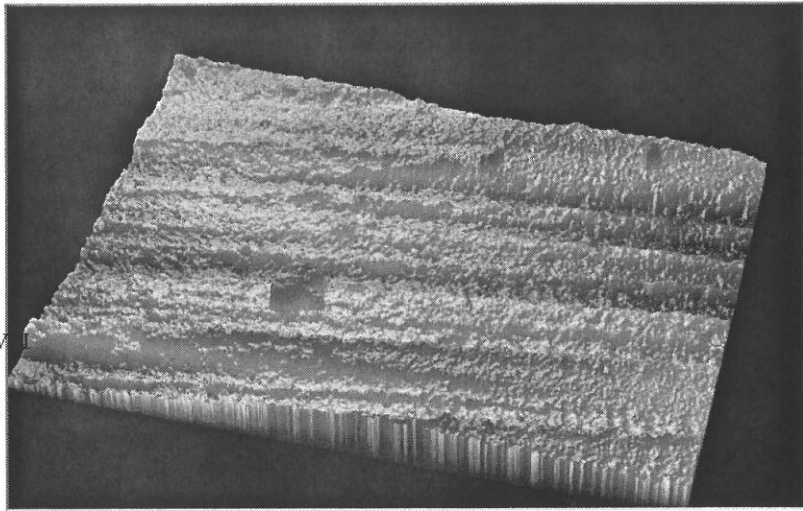
Date: 03/11/20
Time: 13:30:56

Surface Stats:

Ra: 5.94 um
Rq: 7.10 um
Rt: 41.35 um

Measurement Info:

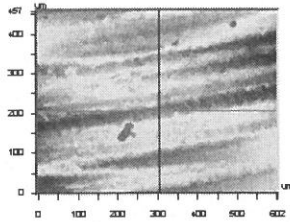
Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



Title:

Note:

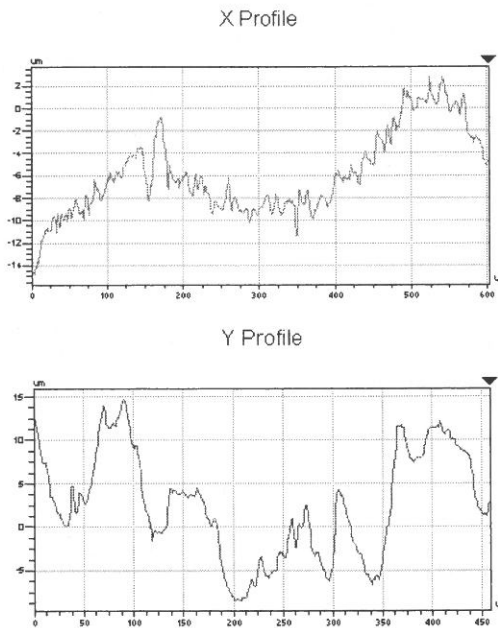
Figure V.14 : (Insert de 1^{ère} génération gros grains + grains fins). Image 3D du fond de la rainure



X	303.63	-	um
Y	207.25	-	um
Ht	-8.76	-	um
Dist	-	-	um
Angle	-	-	-

Title:

Note:



Rq	3.70 um
Ra	3.02 um
Rt	17.67 um
Rp	2.81 um
Rv	-14.86 um

Angle	0.00 mrad
Curve	16.10 um
Temp	None
Avg. Ht	-5.85 um
Area	-3521.48 um ²

Rq	6.18 um
Ra	5.17 um
Rt	23.28 um
Rp	14.70 um
Rv	-9.58 um

Angle	0.00 mrad
Curve	2.11 um
Temp	None
Avg. Ht	2.22 um
Area	1151.06 um ²

Figure V.15 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (x profile) et dans le sens transverse (y profile)

V.3.2.3. Insert de 1^{ère} génération, grains fins, Force appliquée de 160 gr (Dent N°3)

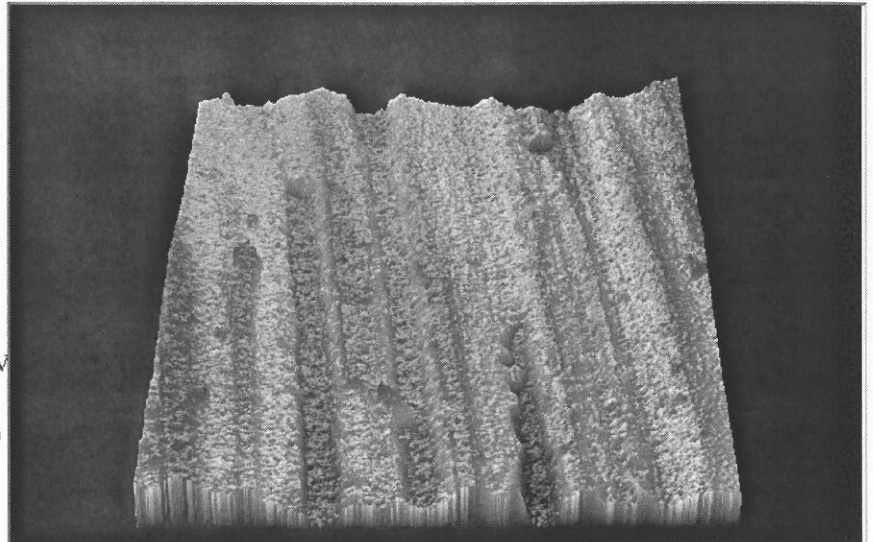
3-Dimensional Interactive Display Date: 03/11/20
Time: 13:48:29

Surface Stats:

Ra: 4.54 μm
Rq: 5.71 μm
Rt: 35.46 μm

Measurement Info:

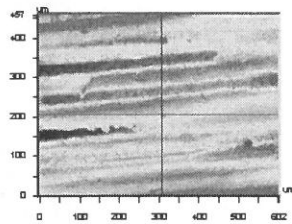
Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



Title:

Note:

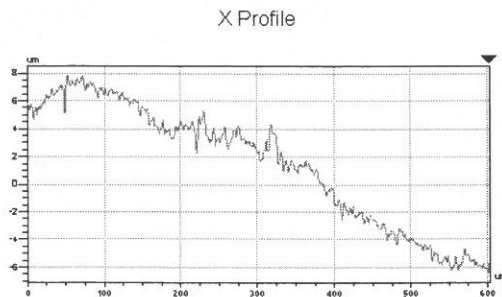
Figure V.16 : Image 3D du fond de la rainure



X	306.91	-	μm
Y	207.25	-	μm
H	1.82	-	μm
Dist		-	μm
Angle		-	$^\circ$

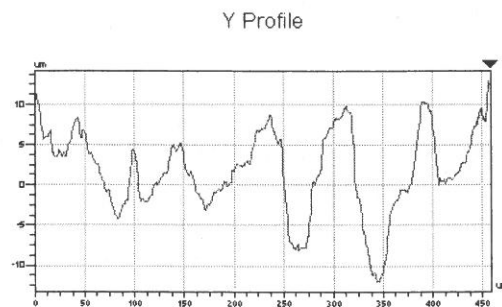
Title:

Note:



Rq	4.34 μm
Ra	3.81 μm
Rt	14.17 μm
Rp	7.79 μm
Rv	-6.38 μm

Angle	0.00 mrad
Curve	19.58 mm
Terms	None
Avg. H	1.44 μm
Area	868.01 μm^2



Rq	5.18 μm
Ra	4.14 μm
Rt	25.04 μm
Rp	12.90 μm
Rv	-12.14 μm

Angle	0.00 mrad
Curve	4.43 mm
Terms	None
Avg. H	1.72 μm
Area	788.56 μm^2

Figure V.17 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (x profile) et dans le sens transverse (y profile)

V.3.2.4. Insert de 2^{ème} génération gros grains, Force appliquée de 160 gr (Dent N°4)

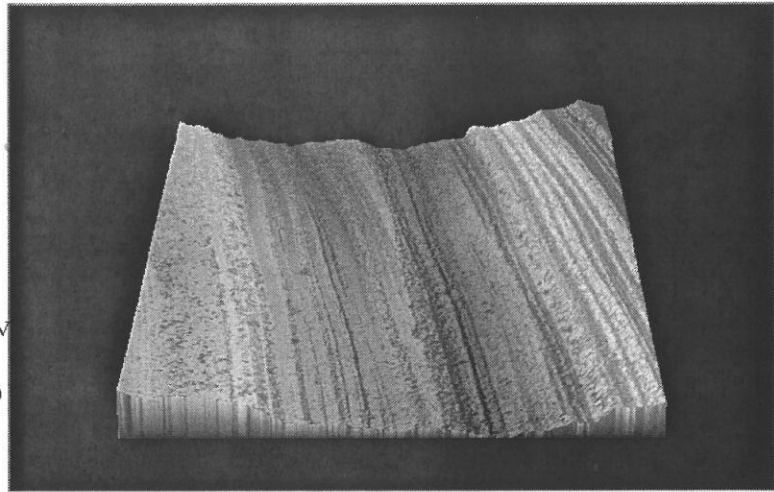
Veeco 3-Dimensional Interactive Display Date: 02/03/20
Time: 09:25:10

Surface Stats:

Ra: 14.42 um
Rq: 16.10 um
Rt: 71.91 um

Measurement Info:

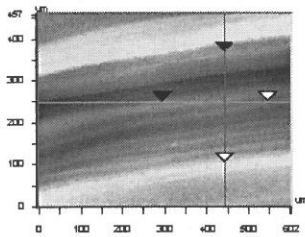
Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



Title:
Note:

Figure V.18 : Image 3D du fond de la rainure

Veeco



X	444.40	um
Y	250.23	um
Rz	-9.76	um
Dist		um
Angle		°

Title:
Note:

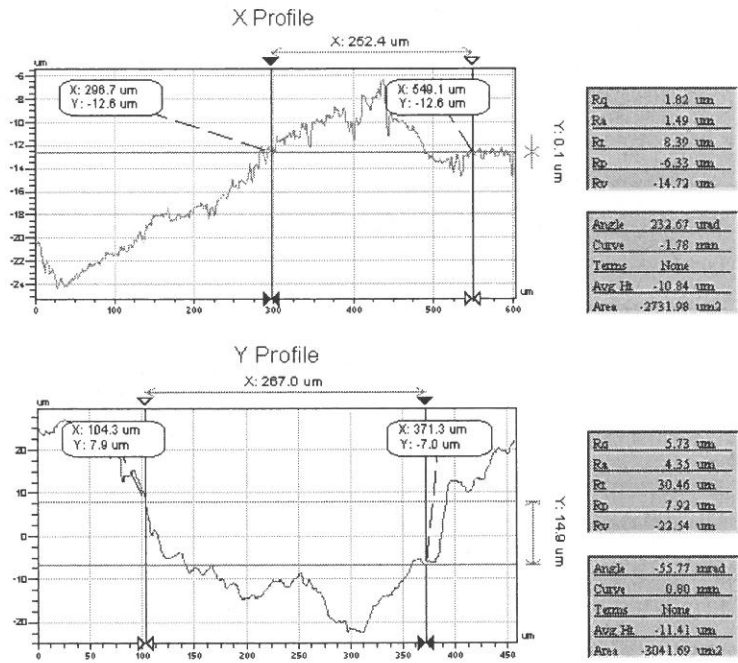


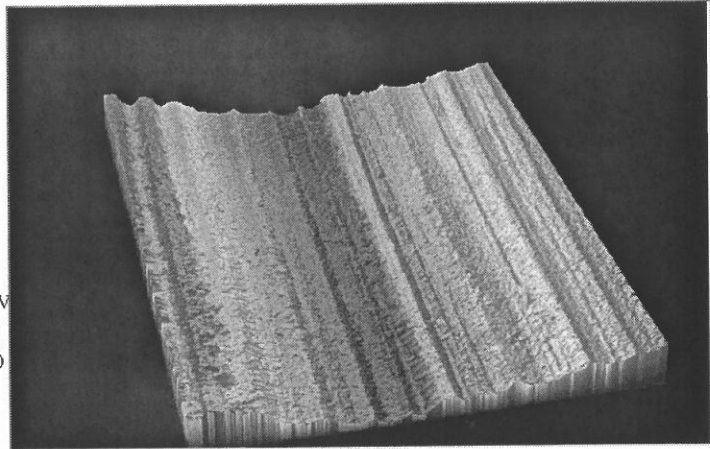
Figure V.19 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (X profile) et dans le sens transverse (Y profile)

V.3.2.5. Insert de 2^{ème} génération gros grains + grains fins, Force appliquée de 160 gr (Dent N°5)

Veeco 3-Dimensional Interactive Display Date: 03/11/20
Time: 13:59:01

Surface Stats:
Ra: 12.44 um
Rq: 14.62 um
Rf: 68.33 um

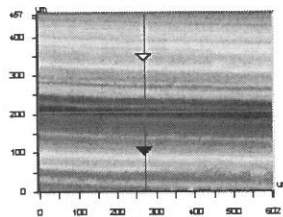
Measurement Info:
Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



Title:
Note:

Figure V.20 : Image 3D du fonds de la rainure

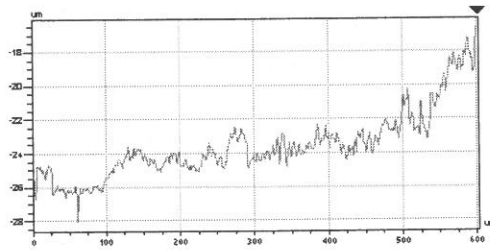
Veeco



Xc	221.71	um
Y	207.25	um
Ht	-21.98	um
Dist		um
Angle		

Title:
Note:

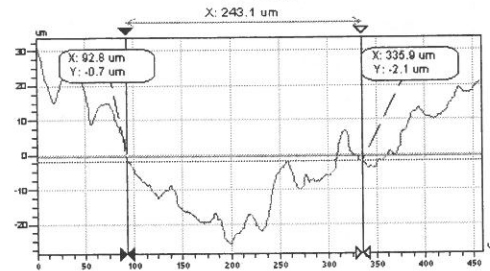
X Profile



Rq	1.97 um
Ra	1.42 um
Rt	11.41 um
Rp	-16.65 um
Rv	-28.05 um

Angle	0.00 mrad
Curv	25.43 mm
Tense	None
Avg Ht	-23.56 um
Area	-0.01 mm ²

Y Profile



Rq	7.92 um
Ra	6.78 um
Rt	32.77 um
Rp	6.80 um
Rv	-25.97 um

Angle	-5.69 mrad
Curv	0.37 mm
Tense	None
Avg Ht	-11.24 um
Area	-3725.71 um ²

Figure V.21 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (X profile) et dans le sens transverse (Y profile)

V.3.2.6. Insert de 2^{ème} génération grains fins, Force appliquée de 160 gr (Dent N°6)

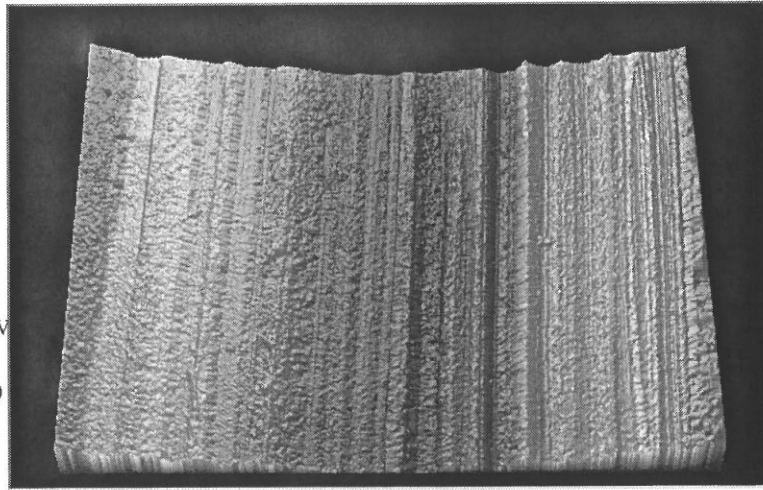
Veeco 3-Dimensional Interactive Display Date: 02/03/20
Time: 19:20:56

Surface Stats:

Ra: 19.00 um
Rq: 22.59 um
Rt: 96.22 um

Measurement Info:

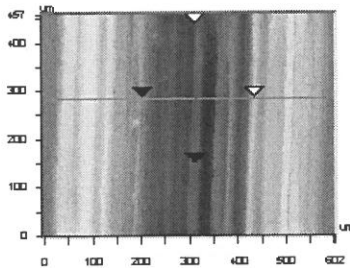
Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



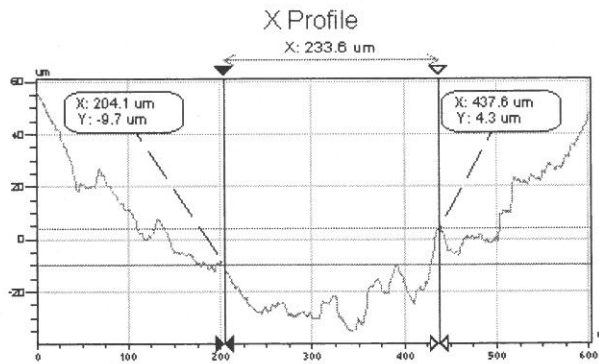
Title:
Note:

Figure V.22 : Image 3D du fond de la rainure

Veeco

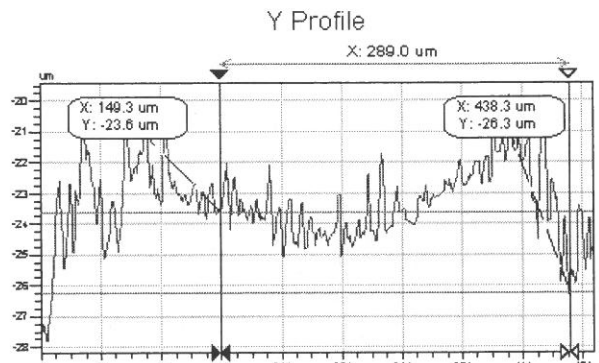


X	313.45	-	-	um
Y	285.57	-	-	um
Ht	-24.07	-	-	um
Dist	-	-	-	um
Angle	-	-	-	°



Rq	7.51 um
Ra	5.95 um
Rt	39.26 um
Fd	4.29 um
Fv	-34.98 um

Angle	59.72 mrad
Curve	0.39 mm
Terms	None
Avg Ht	-22.48 um
Area	-5342.85 um ²



Rq	1.10 um
Ra	0.90 um
Rt	6.47 um
Fd	-19.82 um
Fv	-26.29 um

Angle	-9.21 mrad
Curve	26.89 mm
Terms	None
Avg Ht	-23.31 um
Area	-6729.86 um ²

Figure V.23 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (Y profile) et dans le sens transverse (X profile)

V.3.2.7. Influence de la pression exercée par le dispositif : Insert de 2^{ème} génération grains
340 gr de force appliquée)



3-Dimensional Interactive Display

Date: 01/31/20
Time: 10:32:32

Surface Stats:

Ra: 3.15 um

Rq: 3.93 um

Rt: 24.95 um

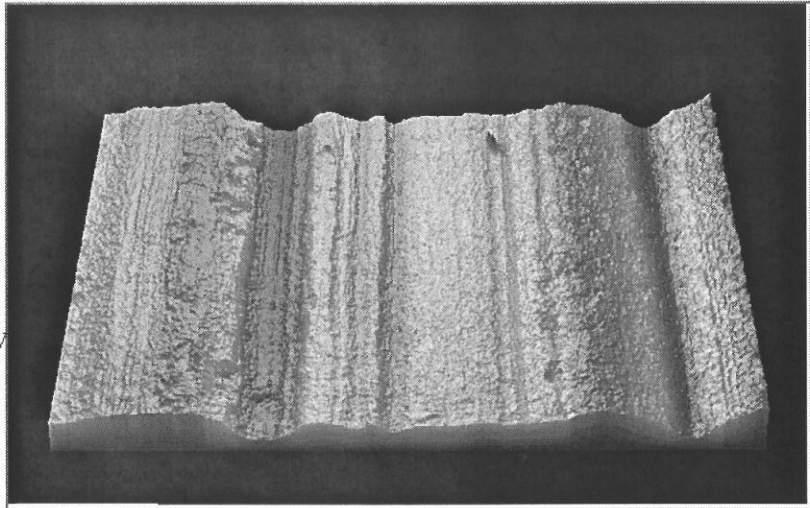
Measurement Info:

Magnification: 10.00

Measurement Mode: V

Sampling: 840.00 nm

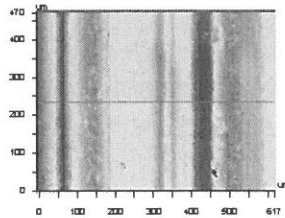
Array Size: 736 X 480



Title:

Note:

Figure V.24 : Image 3D de la rainure

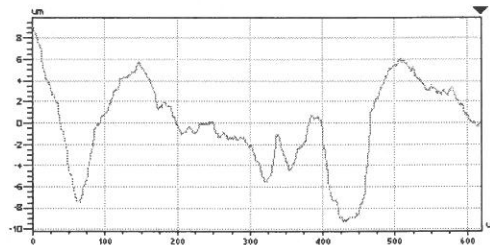


Xc	63.84	um
Yc	236.25	um
Hh	-7.32	um
Dist		um
Angle		

Title:

Note:

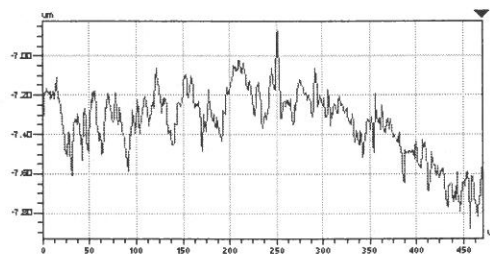
X Profile



Rq	4.04 um
Ra	3.23 um
Rt	18.24 um
Rp	9.02 um
Rv	-9.23 um

Angle	0.00 mrad
Curve	8.77 mm
Term	None
Avg_Hh	-0.03 um
Area	-20.47 um ²

Y Profile



Rq	0.17 um
Ra	0.14 um
Rt	1.01 um
Rp	-5.88 um
Rv	-7.88 um

Angle	0.00 mrad
Curve	-76.00 mm
Term	None
Avg_Hh	-7.34 um
Area	-3447.35 um ²

Figure V.25 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (y profile) et dans le sens transverse (x profile)

V.3.2.8. Insert de 2^{ème} génération, grains fins, préparation manuelle de la dent



3-Dimensional Interactive Display

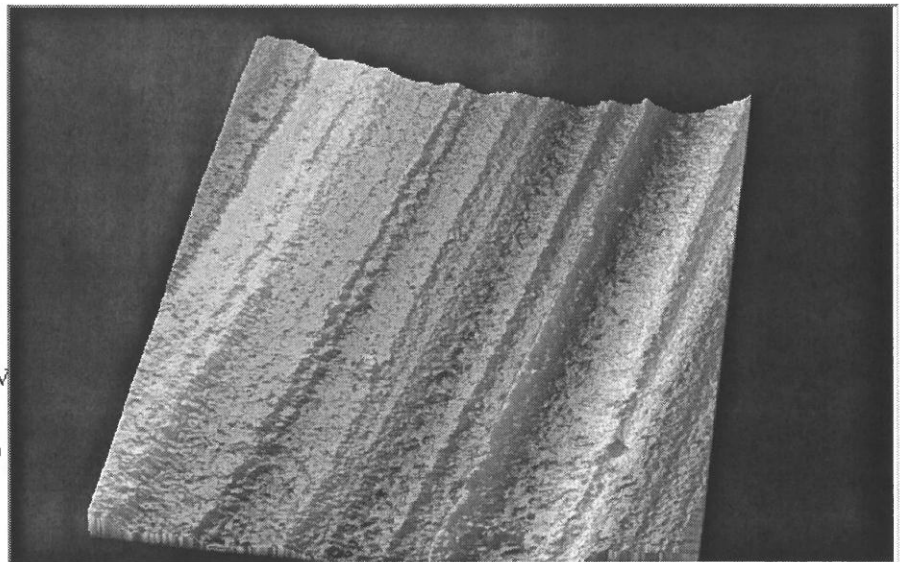
Date: 03/11/20
Time: 14:10:23

Surface Stats:

Ra: 12.93 um
Rq: 15.75 um
Rt: 72.71 um

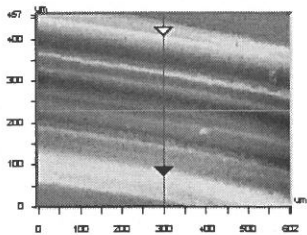
Measurement Info:

Magnification: 10.26
Measurement Mode: V
Sampling: 818.41 nm
Array Size: 736 X 480



Title:
Note:

Figure V.26 : Image 3D de la rainure



X	301.18	-	-	um
Y	229.22	-	-	um
Fit	-9.69	-	-	um
Dist		-	-	um
Angle		-	-	

Title:
Note:

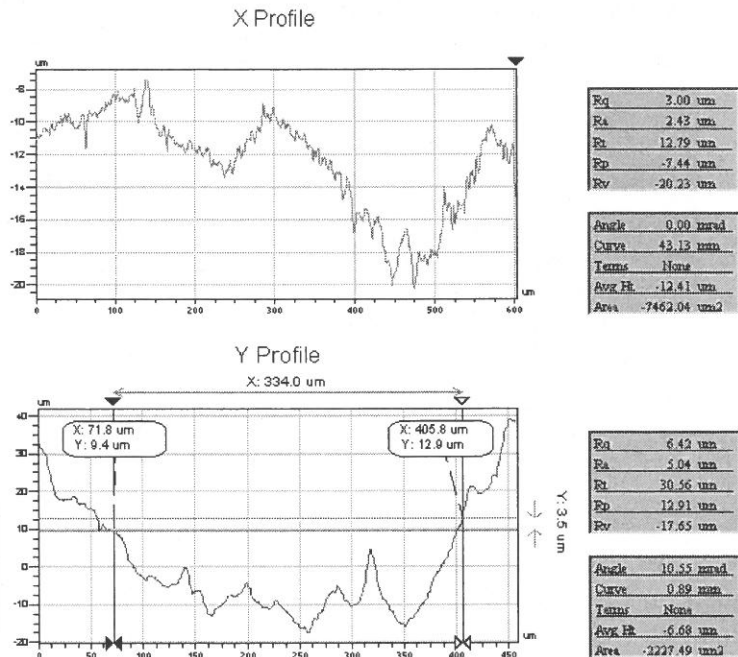


Figure V.27 : Profils de rugosité dans le fond de la rainure suivant l'axe de déplacement de l'insert (x profile) et dans le sens transverse (y profile)

V.4. INTERPRETATION DES RESULTATS

V.4.1. ZONES ET DIRECTION DES MESURES

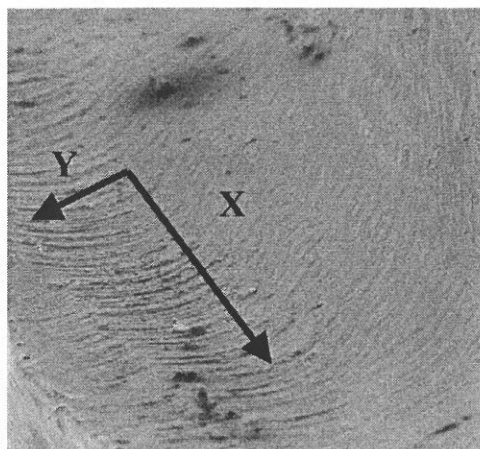


Fig. V.28 : Fraise bague verte + rouge

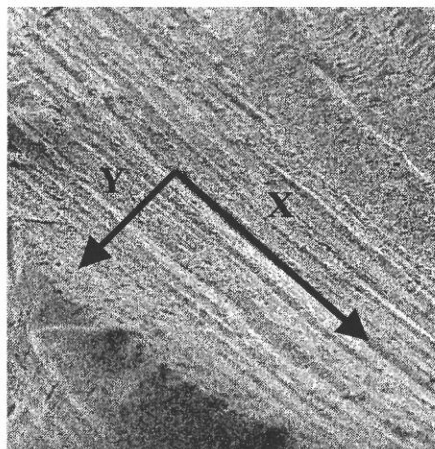


Fig. V.29 Insert de 2^{ème} génération grains Fins

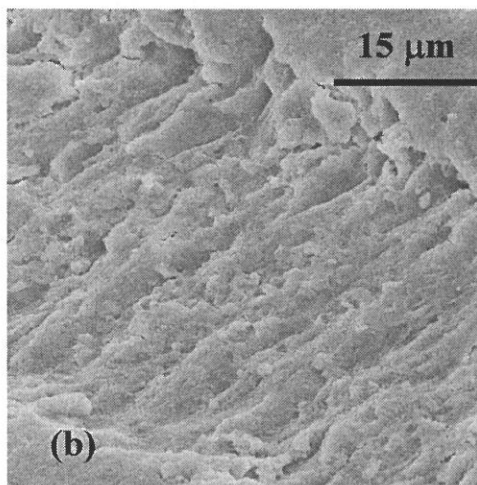
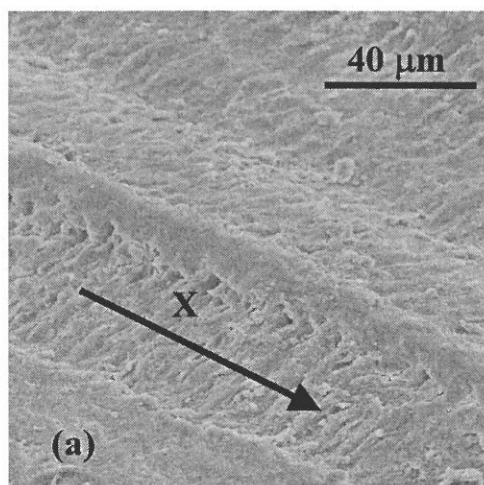


Fig. V.30 : Insert de 2^{ème} génération gros grains : (a) fond d'une rainure (ordre 3), (b) détails

Au vue de ces photographies, la direction de l'analyse n'a pas la même signification suivant que l'on s'adresse aux fraises ou aux inserts.

Pour les fraises (Fig V.28), l'axe d'analyse le plus intéressant est l'axe X, qui correspond au sens de déplacement de l'instrument, dans lequel la rugosité est la plus marquée.

Pour les inserts (Fig V.29), l'axe d'analyse le plus intéressant est l'axe Y, qui correspond à la perpendiculaire, à la rainure ou au déplacement de l'instrument.

Si l'on se déplace dans le fond et dans le sens de la rainure (axe X), on peut étudier les défauts du 3^{ème} (Fig.V.30), inhérents au mode de vibration des inserts, l'axe X devient intéressant.

V.4.2. TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS PARAMETRES DE RUGOSITE

Fraises/Inserts		Paramètres de Rugosité		
		Ra	Rt	Rq
F.BV	X	1,44	6,73	1,70
	Y	0,69	4,33	0,88
F.BV + BR	X	1,24	5,68	1,45
	Y	0,65	3,79	0,79
1 ^{ère} G.GG	X	1,62	9,19	1,94
	Y	4,38	19,79	5,02
1 ^{ère} G.GG + GF	X	3,02	17,67	3,70
	Y	5,17	23,28	6,18
1 ^{ère} G.GF	X	3,81	14,17	4,34
	Y	4,14	25,04	5,18
2 ^{ème} G.GG	X	1,49	8,39	1,82
	Y	4,35	30,46	5,73
2 ^{ème} G.GG + GF	X	1,42	11,41	1,97
	Y	6,78	32,71	7,92
2 ^{ème} G.GF	X	0,90	6,47	1,10
	Y	5,95	39,26	7,51
2 ^{ème} G.GF 340 gr	X	0,14	1,01	0,17
	Y	3,23	18,24	4,04
2 ^{ème} G.GF manuel	X	2,43	12,79	3
	Y	12,93	72,71	15,75

V.4.3. COMMENTAIRES

Les résultats de ce tableau amènent plusieurs constatations :

- La profilométrie 3D nous permet d'accéder à une rugosité plus fine et sur une plus grande surface d'analyse que le palpeur mécanique.
- L'état de surface de l'usinage à la fraise est plus régulier que celui des inserts à ultrasons, qu'ils soient de 1^{ère} ou de 2^{ème} génération (Ra de l'ordre de 1,5 μm pour les fraises contre 4 à 7 μm pour les inserts, Rt de l'ordre de 6 μm pour les fraises contre 20 à 30 μm pour les inserts. Ces résultats confirment ceux de profilométrie mécanique.
- Dans le sens du déplacement de la fraise, on obtient un état de surface légèrement moins rugueux après le passage de la fraise bague rouge (Figures V.8, 9, 10 et 11), (Rt de 5,7 contre 6,7 après passage de la fraise).
- Les inserts de 2^{ème} génération grains fins donnent un état de surface légèrement plus rugueux que les inserts de 1^{ère} génération, que ce soit pour le Ra (6 μm pour les inserts de 2^{ème} génération contre 4 μm pour ceux de 1^{ère} génération), ou pour le Rt (40 μm pour les inserts de 2^{ème} génération contre 25 μm pour ceux de 1^{ère} génération).
- Ces résultats confirment ceux du profilomètre mécanique pour les valeurs du Ra, par contre ils sont contraires pour celles du Rt. En effet, le profilomètre mécanique donnait une rugosité plus importante pour les inserts de 1^{ère} génération. Il faut néanmoins préciser que ces valeurs sont proches les unes des autres, ce qui nous fait dire que ces deux types d'inserts donnent une rugosité sensiblement identique.
- Le passage des inserts grains fins, après celui des gros grains, ne diminue pas la rugosité de surface en termes de Rt ou Ra, et ce pour les deux générations d'inserts. Ces résultats confirment ceux du profilomètre mécanique.
- Il semble que la seule utilisation des grains fins, plutôt que la séquence gros grains puis grains fins, donne un état de surface meilleur en terme de Ra, mais moins bons en termes de Rt pour les deux types d'inserts. Cela s'explique certainement par le fait qu'avec les inserts grains fins on diminue la surface totale des rugosités, mais, par contre, les rainures les plus profondes n'ont pas été éliminées.
- La séquence gros grains + grains fins ne présente donc aucun intérêt en terme de rugosité, du fait, en particulier, de la proximité des valeurs des Ra et des Rt. (Comparaison des dents N° 5 et 6, Fig V.20 et 22).
- Les rainures réalisées par les ultrasons sur la machine, présentent des rugosités différentes en fonction de la charge. Il semble que l'augmentation de la charge diminue la rugosité au moins pour les inserts de 2^{ème} génération grains fins. Cela s'explique certainement par un blocage de la vibration dû à la surcharge, qu'il est impossible pour la machine d'anticiper, ce qui n'est pas le cas à la main.
- La préparation manuelle est beaucoup plus rugueuse, notamment en terme de Rt (Fig. V.26). Le praticien a une influence sur l'état de surface final de la préparation. Cela s'explique certainement par les différences de pressions exercées au cours de l'usinage par le praticien. Si ce dernier usine à un endroit en exerçant une pression importante, il fige l'amplitude de vibration de l'insert ainsi que son pouvoir abrasif, alors qu'en relâchant la pression, il laisse l'insert plus libre de son mouvement de vibration, ce qui crée une différence importante de rugosité notamment dans la hauteur des pics, d'où un Rt très élevé.

- Cela permet de comprendre pourquoi les inserts de 2^{ème} génération donnaient de plus mauvais résultats sur la machine, en terme d'usinage, qu'entre les mains d'un opérateur. Sur la machine la charge utilisée était trop importante, empêchant l'insert de vibrer donc d'usiner. L'opérateur lui bénéficie du sens tactile et auditif qui lui permet de mieux contrôler la vibration, d'où un usinage meilleur.
- Si l'on se réfère aux résultats de l'article écrit par Bass et collaborateurs, sur la rugosité obtenue avec les fraises diamantées gros grains, Rt de 35 μm puis 20 μm après polissage par une fraise diamantée grains moyens, la rugosité ainsi obtenue avec les inserts à ultrasons est certes proche, mais encore trop importante par rapport à celle préconisée par ces auteurs pour la réalisation d'une rétention convenable de l'élément scellé.
- Ces expériences, pour lesquelles on a fait varier la charge appliquée (160 et 340 gr), ou réalisé l'usinage manuellement, montrent que l'amplitude de vibration de l'insert a une influence sur la rugosité. Il faudrait alors trouver un compromis entre une amplitude de vibration suffisamment élevée, pour permettre un usinage rapide, et suffisamment faible pour permettre un état de surface le plus lisse possible. Sans changer la granulométrie du diamant, on propose de réduire l'amplitude de vibration en modifiant la puissance du générateur en mode détartrage (position S/détartrage sur le suprasson Pmax (Satelec)), ou en faisant la même opération avec les modes P/parodontologie ou E/endodontie.
- Pour ce qui est de la rugosité dans l'axe de la rainure (X), les Ra et Rt des inserts de 1^{ère} génération (Ra : 4 et Rt : 14), sont légèrement supérieurs à ceux de la nouvelle génération (Ra : 1 et Rt : 6,5), ce qui confirmerait les observations faites sur le mode de vibration en percussion des inserts de 1^{ère} génération.

CHAPITRE VI

**PROPOSITION D'UN NOUVEAU PROTOCOLE DE
PREPARATION**

A l'issue de cette étude, après avoir développé et montré l'efficacité de ces nouveaux inserts ultra sonores, il est possible de les intégrer dans notre séquence opératoire de préparation des dents.

Le cas clinique choisi est celui d'une réhabilitation prothétique du secteur antérieur maxillaire, mais ce protocole reste valable pour n'importe quelle dent

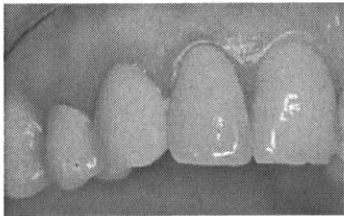


Fig VI.1

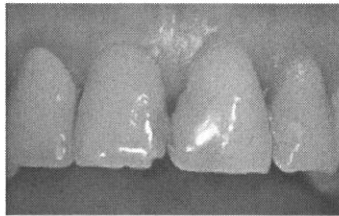


Fig VI.2

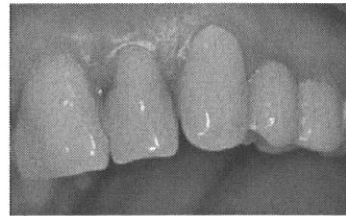


Fig VI.3

Figures VI.1 à 3 : Etat bucco-dentaire de la patiente avant traitement

- 1) Réalisation d'une clé en silicone, qui permettra de contrôler la réduction des tissus et le respect de l'homothétie.
- 2) Choix des fraises qui vont nous permettre de réaliser la préparation : fraises cylindriques diamantées
Le profil des fraises utilisées est celui du congé 1/4 de rond, type Komet : bague verte, diamètre 014, réf 6881 ; bague rouge, diamètre 014, réf 8881.
- 3) Mesure à l'aide d'une sonde parodontale de la profondeur du sillon, de manière à déterminer de manière précise le positionnement sous gingival de la limite.
- 4) Préparation des parois axiales.

▪ Face vestibulaire : 2/3 cervical

Réalisation avec la fraise bague verte, de plusieurs rainures, véritables guides de profondeur et de position de la limite, deux en position centrale et deux en positions latérales dans les zones interproximales. La fraise est enfoncée de tout son diamètre (Fig. VI.4).

Elle est ensuite déplacée de mésial en distal, de manière à relier les rainures.

Ces rainures sont réalisées dans les deux tiers cervicaux, en dessous de la ligne de transition. A ce stade l'extrémité de la fraise est en position juxta gingivale.

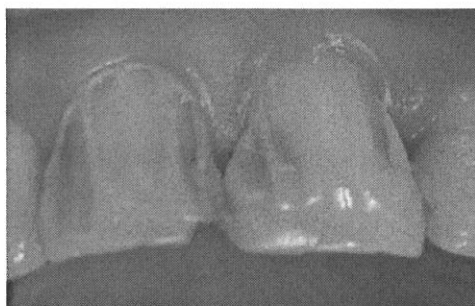


Figure VI.4 : réalisation des rainures guides

- Face vestibulaire : 1/3 occlusal.

Réalisation avec la même fraise de 3 rainures guides, dans le 1/3 occlusal, juste au dessus de la ligne de transition, en tenant compte de la variation d'angulation. Réunion des 3 limites.

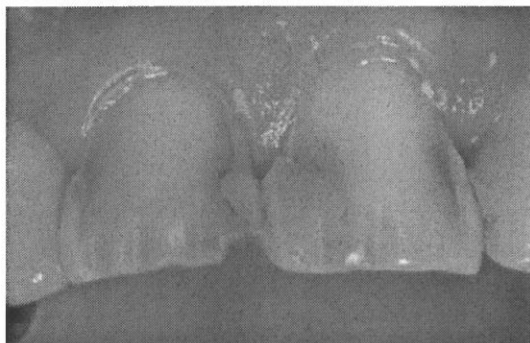


Figure VI.5 : Aspect de la préparation après réunion des rainures cervicales

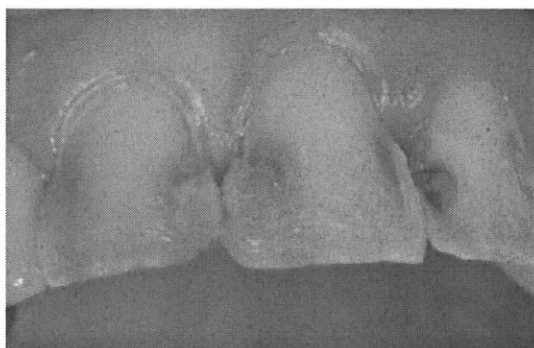


Figure VI.6 : Aspect de la préparation après réunion des rainures occlusales

- Faces proximales.

Prolongement des rainures interproximales en direction palatine, à l'aide des fraises diamantées bagues vertes de diamètre 012. Ces fraises de diamètre inférieur permettent de travailler dans cette zone étroite sans léser les dents adjacentes. Il est très important de festonner la préparation dans cette région de manière à ne pas léser la zone papillaire.

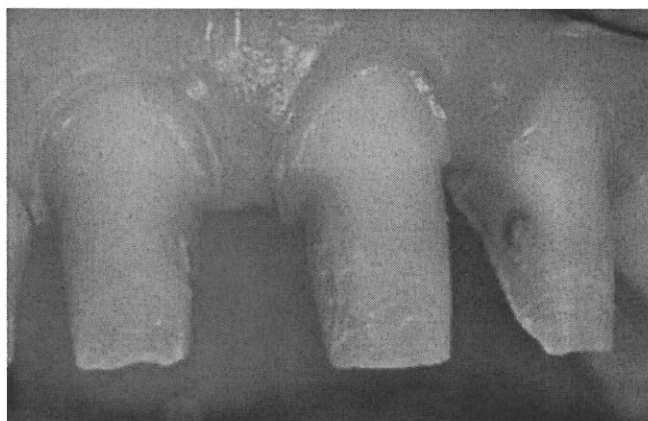


Figure VI.7 : Aspect des dents après préparation des faces proximales

- Face linguale : zone infra cingulaire.
Prolongement de la limite initiée en interproximal au niveau palatin avec la fraise de diamètre 012, en essayant de paralléliser le plus possible cette portion de dents avec la face vestibulaire. De la bonne préparation de cette zone dépend en partie la rétention de notre préparation.
- Face linguale : zone supra cingulaire.
Cette zone est préparée à l'aide d'une fraise tonneau dont la forme s'adapte à la concavité de la face palatine. La quantité de matière enlevée est de l'ordre de 1 à 1,5 mm.



Figure VI.8 : Aspect de la préparation des zones infra et supra cingulaires

- Bord incisif.
Arrivé à ce stade de la préparation, le bord libre est le plus souvent déjà réduit. On peut être amené à le retoucher un peu de telle sorte que la réduction soit de l'ordre de 1,5mm.

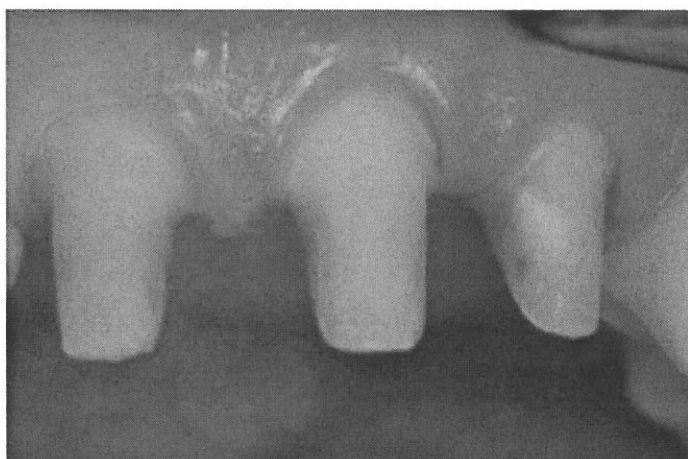


Figure VI.9 : Préparations terminées

- Pénétration sulculaire.

La préparation de la dent est en partie terminée, mais il reste une étape primordiale à réaliser, qui est celle de la pénétration sulculaire au cours de laquelle la limite sera amenée en position intrasulculaire.

Avant toutes choses, nous réalisons un sondage de la profondeur du sillon à l'aide d'une sonde parodontale graduée, de façon à déterminer de manière précise l'enfouissement de la ligne de finition.



Fig VI.10

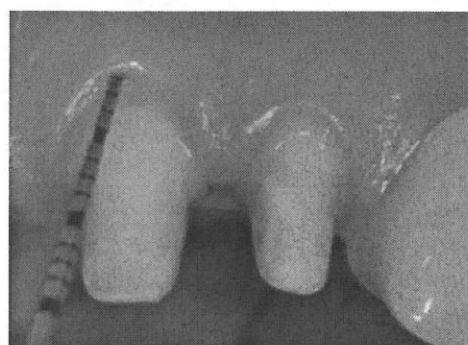


Fig VI.11

Figure VI.10 ET VI.11 : Sondage de la profondeur du sulcus

Cette étape est réalisée en utilisant les inserts ultra sonores diamantés de 2^{ème} génération grains fins (Fig. VI.12), qui vont nous permettre de descendre la limite de manière précise et lente sans léser les tissus parodontaux périphériques.

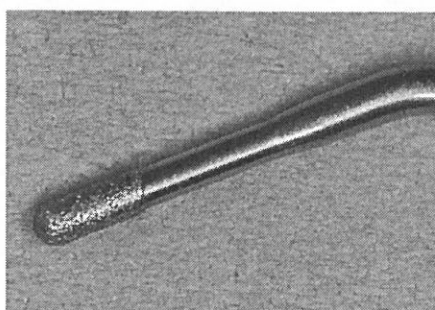


Figure VI.12 : Insert de 2^{ème} G.GF

La pièce à main est tenue de telle sorte que l'insert travaille parallèlement à la face à préparer.

L'orientation de l'insert est elle aussi primordiale. Il doit être en permanence au contact de la paroi axiale de manière à éviter la création de contre-dépouilles dans la zone cervicale, en regard de la ligne de finition.

Le déplacement de l'insert se fait de distal en mésial et de mésial en distal à vitesse lente, car ils ont un pouvoir abrasif moindre à celui des fraises. La pénétration de l'insert en position sous gingivale est contrôlée de manière très précise du fait de la faible hauteur de la partie diamantée (Fig VI.13 à 16).

L'insert est déplacé le long de la limite au contact de la paroi axiale, puis est écarté de cette paroi de manière à corriger et à éliminer le bec crée par le passage de l'instrument dont le profil quart de rond est responsable.

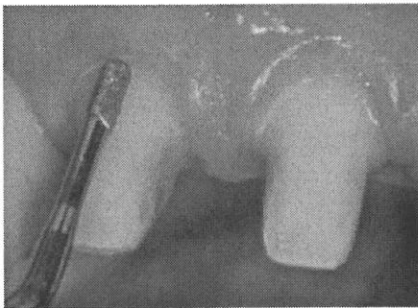


Fig. VI.13



Fig. VI.14

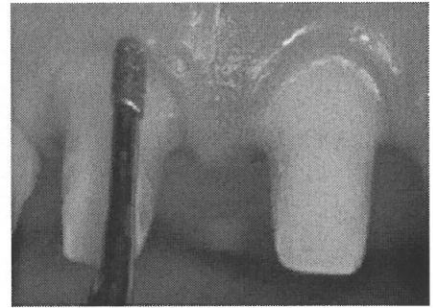


Fig. VI.15



Fig. VI.16

Figures VI.13 à VI.16 : Déplacement de l'insert le long de la limite en gardant le contact avec la paroi axiale

- Polissage du reste de la préparation.

Il se fait en utilisant des fraises diamantées bagues rouges, dont le profil est le même que celui des fraises bagues vertes, mais dont la granulométrie adaptée permet de polir. Il permet d'arrondir tous les angles, et d'obtenir un état de surface compatible avec une prise d'empreinte précise.

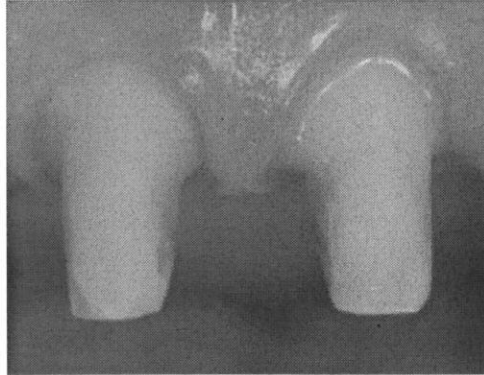


Figure VI.17 : Aspect des préparations après repositionnement de la ligne de finition

L'utilisation des inserts ultrasonores a permis de déplacer la ligne de finition en position sous gingivale, sans mettre en jeu aucun artifice de protection de la gencive marginale. Cette pénétration sulculaire a pu se faire en gardant un très bon sens tactile de la limite permettant un positionnement précis et ce sans aucun saignement gingival.

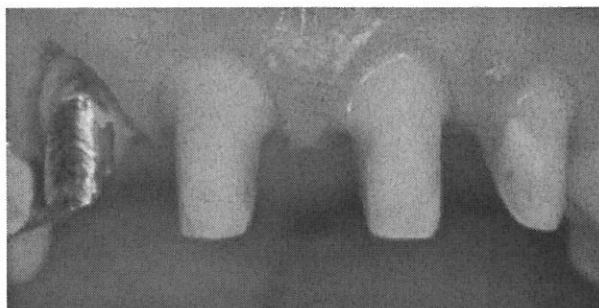


Figure VI.18 : Vue d'ensemble des préparations

Ceci a permis de réaliser des prothèses transitoires dans de bonnes conditions.

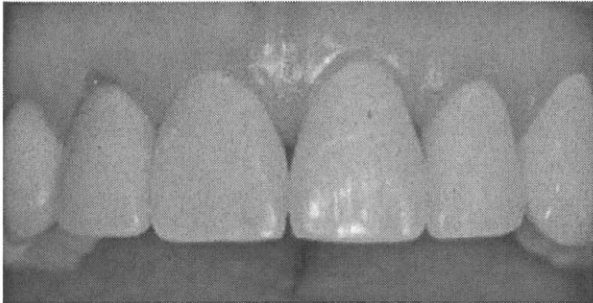


Figure VI.19

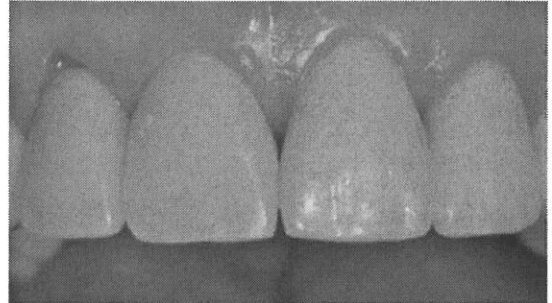


Figure VI.20

Figures VI.19 et VI.20 : Cas clinique après réalisation des provisoires

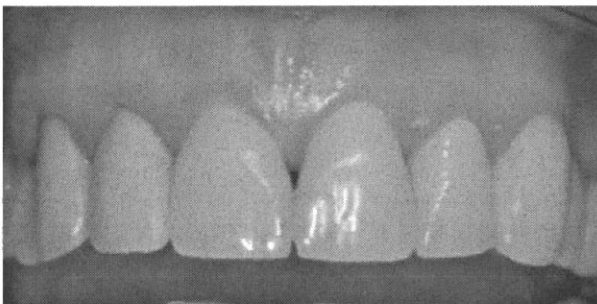


Figure VI.21

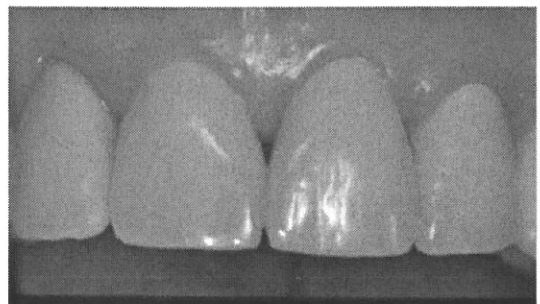


Figure VI.22

Figures VI.21 et 22 : Cas clinique à 8 jours

CONCLUSIONS

Au terme de ces études plusieurs constatations s'imposent :

- L'idée de départ qui consistait à développer des inserts diamantés pour amener les lignes de finition en position sous gingivale, est un projet réalisable. En effet, **les études d'usinage dans la dentine ont toutes prouvé une efficacité des inserts qu'ils soient de 1^{ère} ou de 2^{ème} génération.**
- L'idée de donner aux inserts diamantés **la forme de fraises que l'on utilise pour réaliser ce type de limite, à savoir congé ¼ de rond ou épaulement à angle interne arrondi est bonne**, puisqu'elle permet d'obtenir des limites précises.
- **L'utilisation de ces inserts en clinique confirme leur pouvoir abrasif, qui permet de déplacer la ligne de finition en position intra-sulculaire de manière très sûre, grâce à un sens tactile accru, sans léser la gencive marginale et ce, en l'absence de manœuvre de déflexion gingivale.**

Si l'on considère les résultats expérimentaux proprement dit :

Concernant l'usinage :

- Les meilleurs résultats d'usinage ont été obtenus avec la nouvelle génération de module: le SP Newtron, présent dans le suprasson Pmax.
- **Nous avons montré que les inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations avaient une vibration et un usinage sensiblement identiques.**
- **Au sein des inserts de 2^{ème} génération, les inserts avec la hauteur de diamants la plus faible, usinent plus que les inserts avec une quantité de diamants plus importante.** La raison invoquée semble être la quantité de diamants plus importante, qui doit modifier l'amplitude en déplaçant les nœuds de vibration. Etant donné que la zone de l'insert qui nous intéresse et qui travaille, se situe à l'extrémité, il n'est pas nécessaire d'avoir du diamant sur toute la partie active de l'insert. Elle présente néanmoins un avantage au moment de l'usinage, en permettant de bien positionner l'insert dans l'axe de la dent et au contact de la parois, ce qui est moins facile avec peu de diamants. Elle évite ainsi de créer des contre-dépouilles en regard de la ligne de finition. **Nous ne retiendrons cependant pas cette forme.** Cette constatation va à l'encontre de celle de Massironi qui utilise des inserts dont le diamant recouvre le mandrin sur plusieurs mm, comme sur une fraise diamantée cylindrique traditionnelle.
- Dans les deux catégories d'inserts, de 1^{ère} et de 2^{ème} génération, **nous avons montré que les inserts de 1^{ère} génération grains fins (50 µm) et ceux de 2^{ère} génération (46 µm), usinaient autant si ce n'est plus que les inserts de 1^{ère} génération gros grains (135 µm) et ceux de 2^{ème} génération (126 µm). Les inserts gros à grains ne sont plus utiles.**
- L'usinage sur machine a montré qu'il ne permettait pas aux deux types d'inserts de vibrer dans les mêmes conditions. Si les inserts de 1^{ère} génération ont semblé efficaces, il n'en est pas de même des inserts de 2^{ème} génération, dont la vibration était bloquée dans certains mouvements.

- Il semble donc que la meilleure solution pour comparer les usinages soit d'utiliser les inserts ultrasonores manuellement, à condition de faire réaliser les expérimentations par plusieurs praticiens. Cela nous a permis de montrer que :
 - contrairement aux résultats donnés par la machine, les inserts ultrasonores de 2^{ème} génération étaient aussi efficaces si ce n'est plus, que ceux de 1^{ère} génération.
 - L'usinage manuel était fonction de plusieurs paramètres, en particulier, de la pression exercée sur l'insert, de son orientation, ainsi que de sa vitesse de déplacement.

Concernant l'état de surface :

- Les états de surface donnés par les inserts et les fraises sont différents. **Cela prouve encore une fois, que l'on ne peut comparer l'usinage à la turbine à celui d'une pièce à main ultrasonore. La turbine impose aux diamants des mouvements de rotation, alors que la pièce à main ultrasonore impose aux diamants des mouvements de percussion ou de balayage rectiligne responsables d'un état de surface tout à fait spécifique.**
- Concernant la granulométrie des inserts, il ne semble pas nécessaire de copier la séquence instrumentale des fraises diamantées, à savoir l'utilisation d'une bague verte (gros grains) pour dégrossir, suivie de l'utilisation d'une bague rouge (grains fins) pour polir. Les résultats de granulométrie ont en effet montré que le passage des grains fins après les gros grains n'apportait aucune amélioration de l'état de surface.
- **Les résultats de rugosité sont tous en faveur de l'usinage à la fraise (Rt de l'ordre de 5 μm / 30 μm pour les inserts).**
- Les inserts diamantés de 1^{ère} et de 2^{ème} générations donnent des états de surfaces proches les uns des autres.
- Une solution serait de développer des inserts diamantés à granulométrie encore plus fine, pour diminuer la rugosité créée par les inserts grains fins. Le cas échéant, s'ils se révélaient aussi efficaces en usinage que les inserts grains fins, cela permettrait de n'utiliser qu'un seul type d'insert tout en développant un état de surface plus lisse. Tout cela reste, bien sûr, du domaine de l'hypothèse.
- On pourrait même imaginer un insert sans diamants, dont l'extrémité serait recouverte d'un matériau, par exemple nitrure de titane, dont la dureté et le coefficient de friction permettraient de polir la ligne de finition.
- Une autre solution serait de travailler sur la fréquence en gardant un seul type de diamants, comme l'a fait Massironi.

Le choix entre les inserts de 1^{ère} et de 2^{ème} générations sera donc un choix clinique. Nous avons dit précédemment que les inserts de 1^{ère} génération présentaient deux inconvénients majeurs, le premier de posséder un diamètre trop important incompatible avec une utilisation dans les zones inter proximales, le deuxième de présenter une partie active, travaillante, trop courte, posant des problèmes dans le cas de couronnes cliniques augmentées, notamment pour des dents présentant un support osseux réduit.

Les inserts de 2^{ème} génération, même si leur diamètre est légèrement inférieur aux précédents, sont également trop larges. Leur partie active est plus longue, mais trop, ce qui peut poser des problèmes sur des dents postérieures, chez des patients qui auraient une ouverture buccale limitée.

La forme souhaitée est proche de celle des inserts de 2^{ème} génération courts, à condition de veiller à ce que le diamètre ne dépasse pas 1,4 mm, avec une longueur de la partie travaillante légèrement diminuée (d'environ 4 mm) et une hauteur de diamants n'excédant pas 6mm. Le choix de la granulométrie semble se situer aux alentours de 50 µm, avec, peut être, un deuxième type d'insert de même forme et de diamètre inférieur, aux alentours de 30 µm.

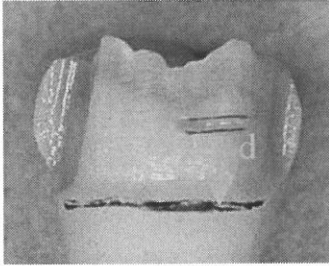
L'utilisation de toutes les fonctions du générateur devrait également permettre d'améliorer la rugosité.

ANNEXES

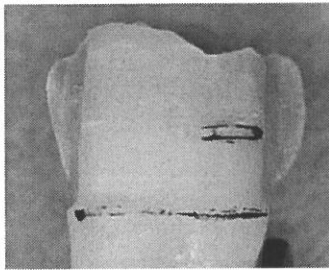
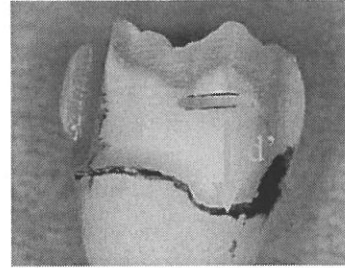
Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.2

Avant usinage.

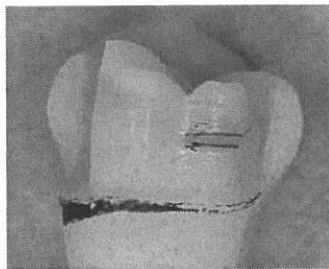
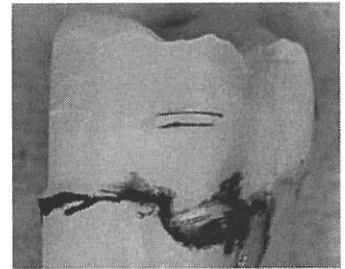
Après usinage



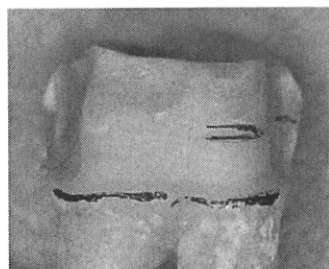
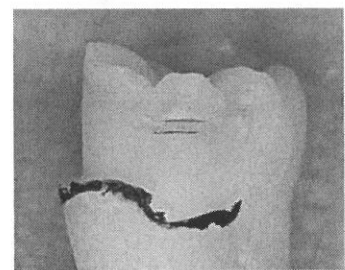
Dent n°8



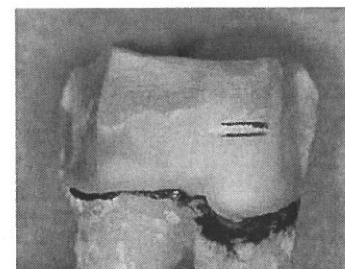
Dent n°9

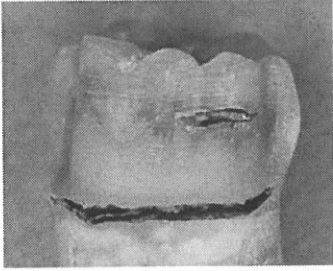


Dent n°10

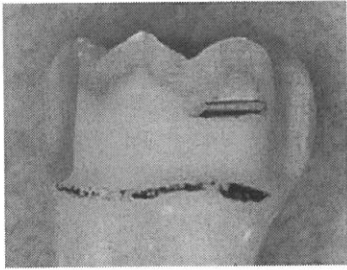
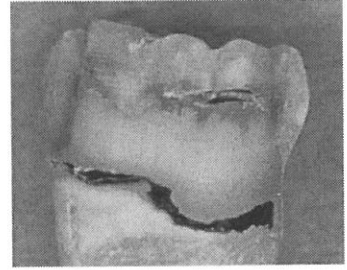


Dent n°11

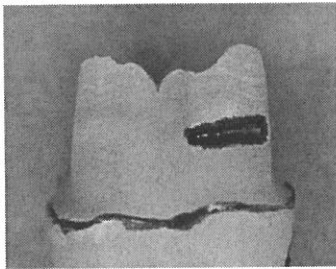
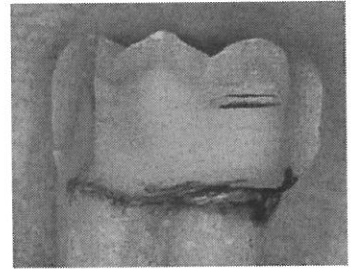




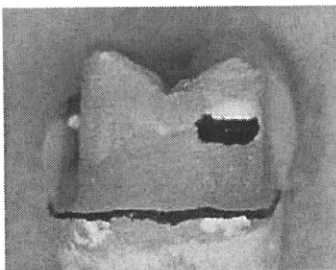
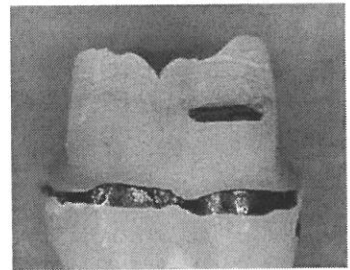
Dent n°13



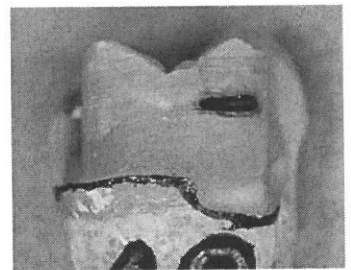
Dent n°14

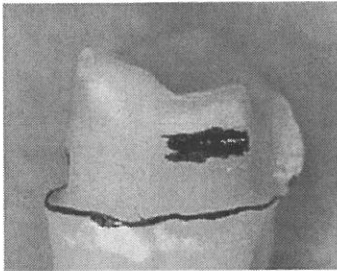


Dent n°15

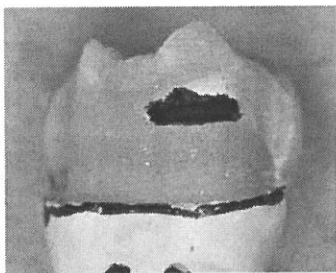
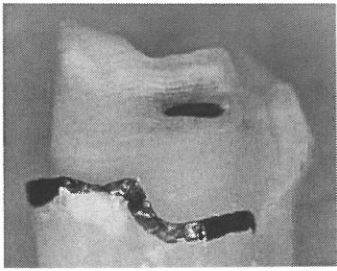


Dent n°16

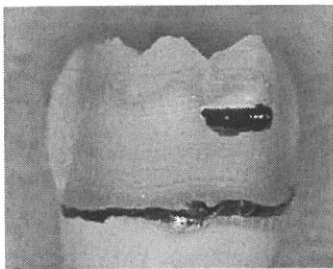
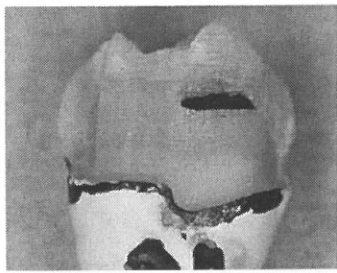




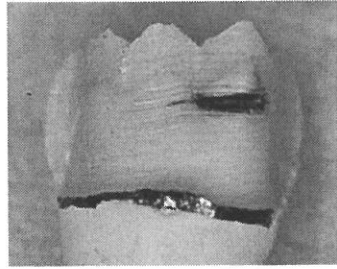
Dent n°17



Dent n°18



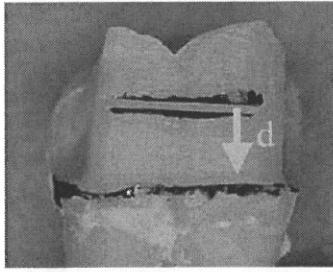
Dent n°19



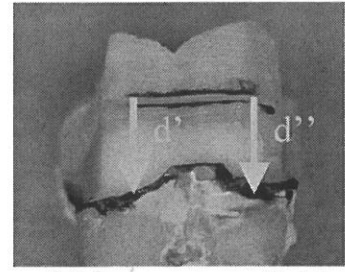
Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.3

Avant usinage.

Après usinage

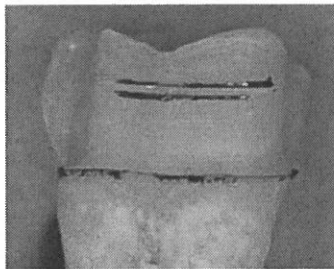


Dent n°20

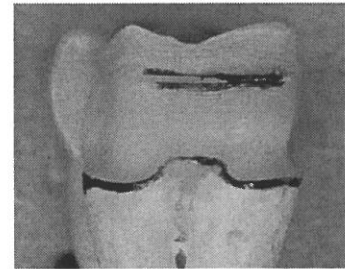


mésial distal

mésial distal

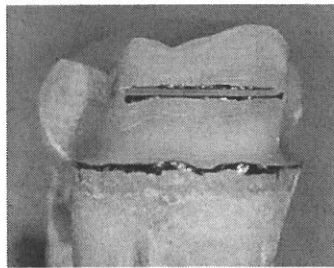


Dent n°21

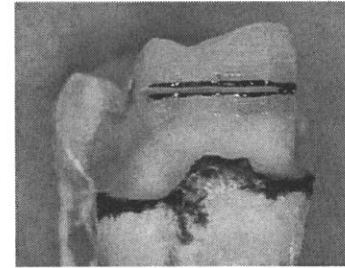


mésial distal

mésial distal



Dent n°22

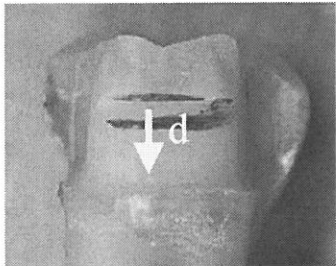


mésial distal

mésial distal

Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.4

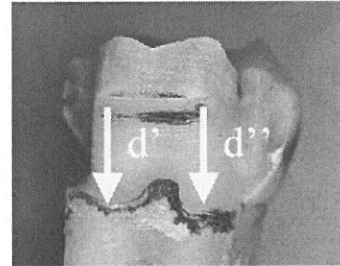
Avant usinage.



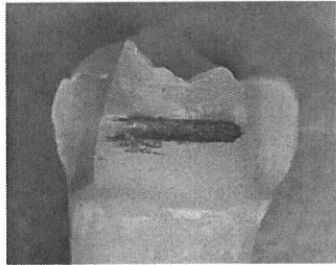
mésial distal

Dent n°23

Après usinage

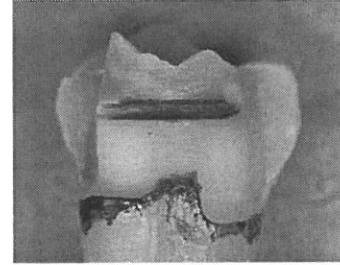


mésial distal

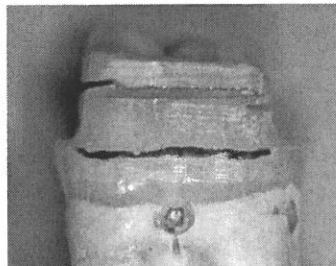


mésial distal

Dent n°24

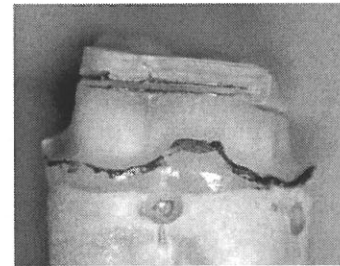


mésial distal

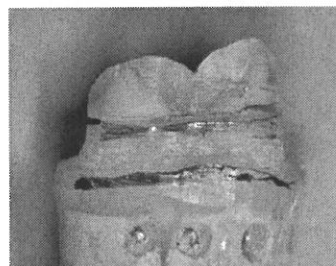


mésial distal

Dent n°25

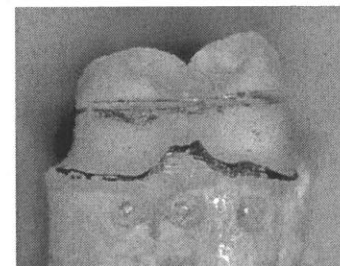


mésial distal

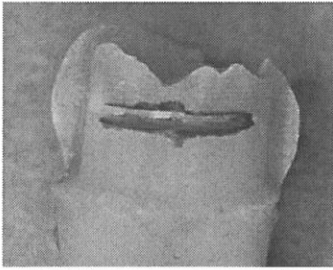


mésial distal

Dent n°26



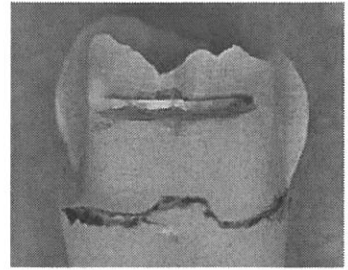
mésial distal



mésial

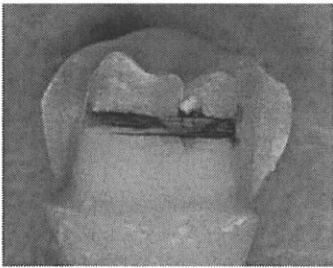
distal

Dent n°27



mésial

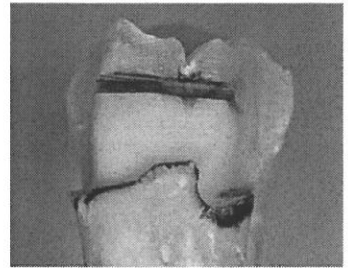
distal



mésial

distal

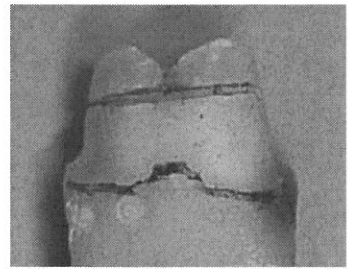
Dent n°28



mésial

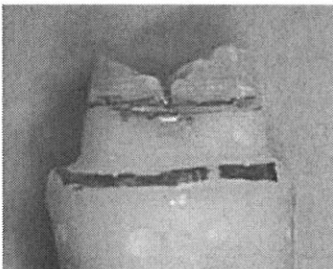
distal

Dent n°29



mésial

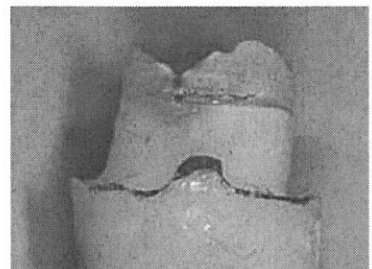
distal



mésial

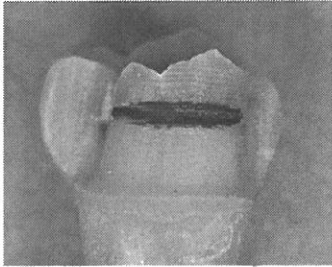
distal

Dent n°30



mésial

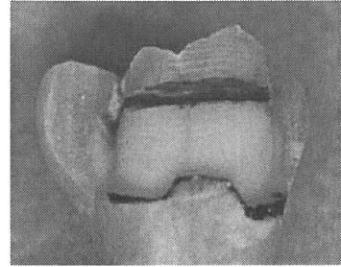
distal



mésial

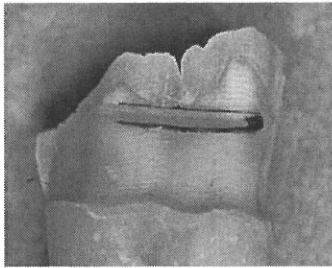
distal

Dent n°31



mésial

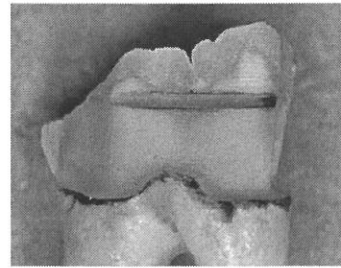
distal



mésial

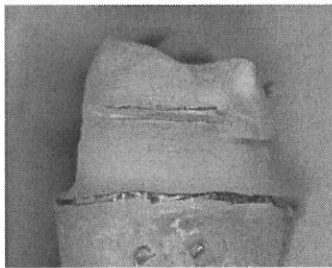
distal

Dent n°32



mésial

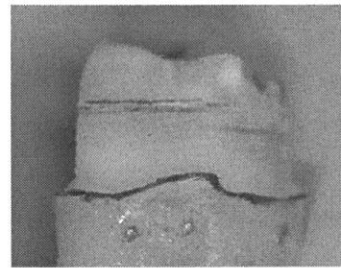
distal



mésial

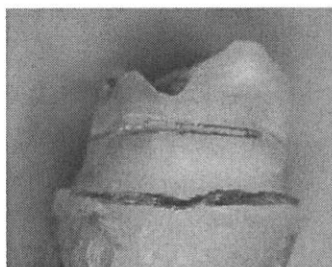
distal

Dent n°33



mésial

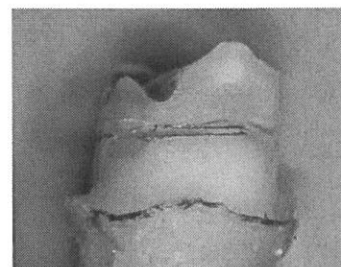
distal



mésial

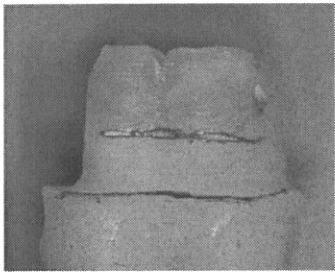
distal

Dent n°34



mésial

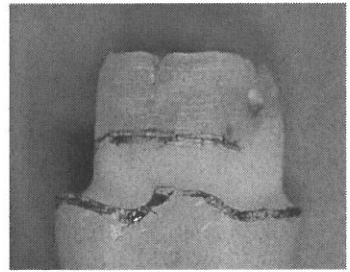
distal



mésial

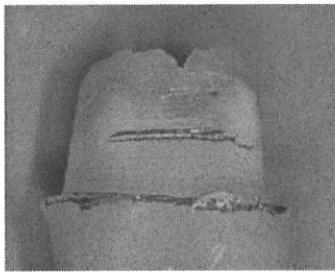
distal

Dent n°35



mésial

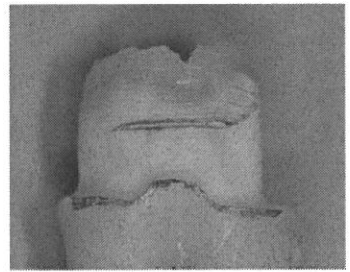
distal



mésial

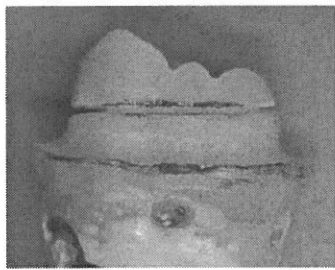
distal

Dent n°36



mésial

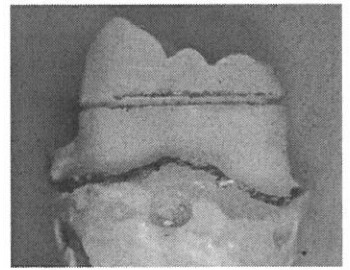
distal



mésial

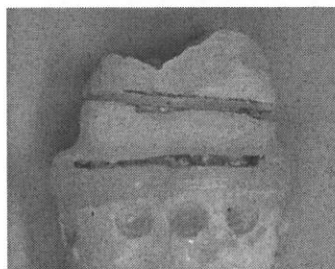
distal

Dent n°37



mésial

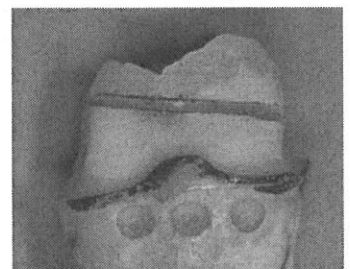
distal



mésial

distal

Dent n°38

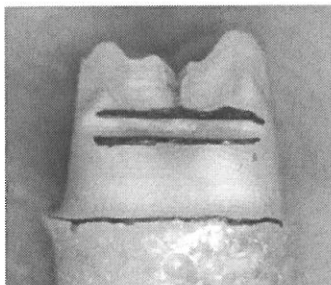


mésial

distal

Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.5

Avant usinage.

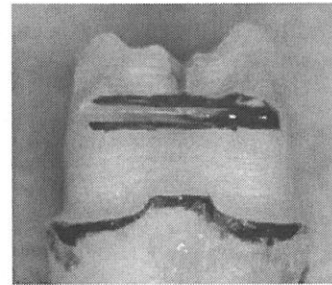


mésial distal

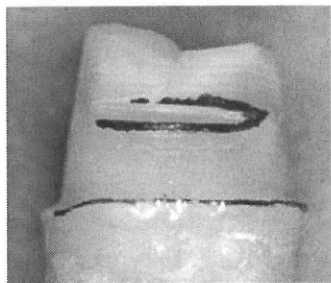
Dent n°40

Face vestibulaire

Après usinage



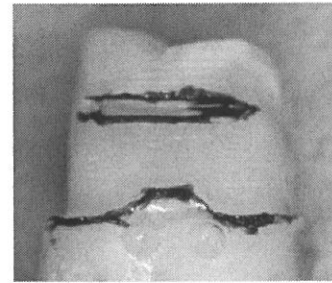
mésial distal
2^{ème} G.GG 2^{ème} G.GF



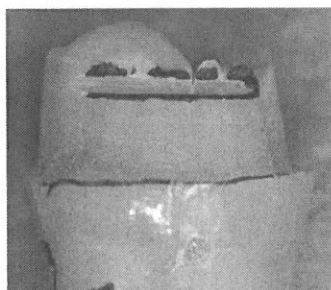
mésial distal

Dent n°40

Face linguale



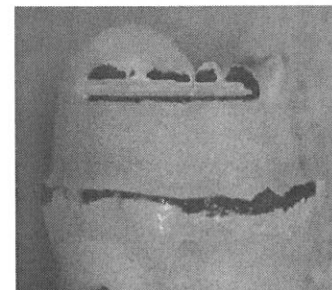
mésial distal
2^{ème} G.GG 2^{ème} G.GF



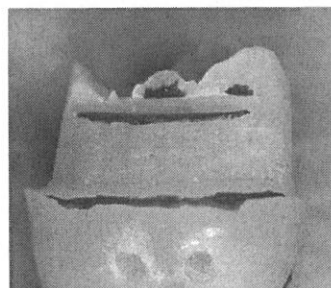
mésial distal

Dent n°41

Face vestibulaire



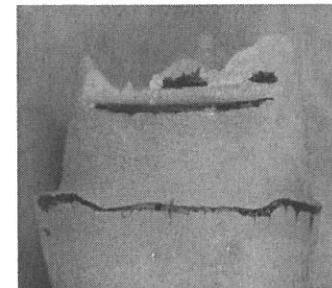
mésial distal
2^{ème} G.GG



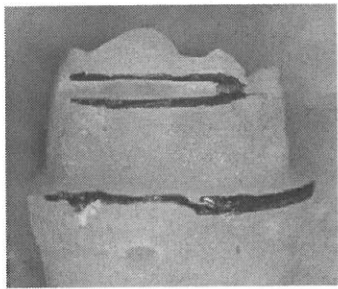
mésial distal

Dent n°41

Face linguale



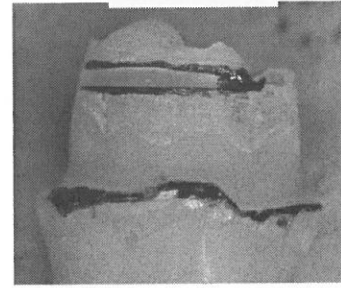
mésial distal



mésial distal

Dent n°42

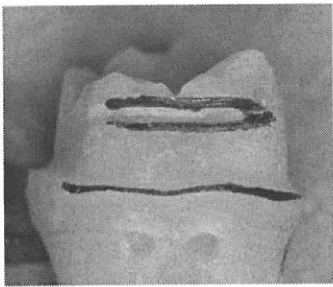
Face vestibulaire



mésial distal

2ème G.GG

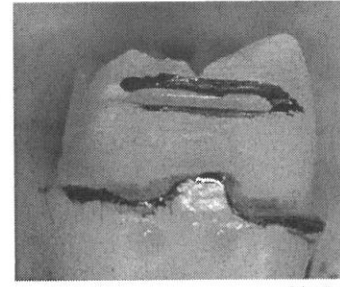
1ère G.GG



mésial distal

Dent n°42

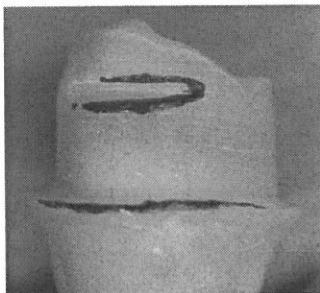
Face linguale



mésial distal

2ème G.GG

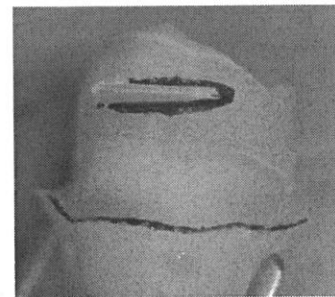
1ère G.GG



mésial distal

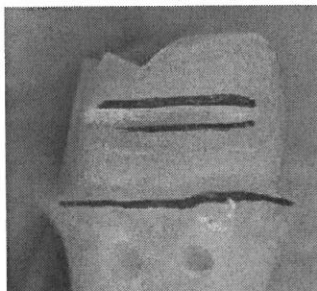
Dent n°43

Face vestibulaire



mésial distal

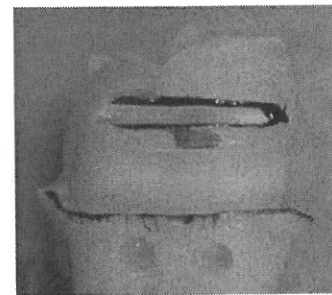
2ème G.GG



mésial distal

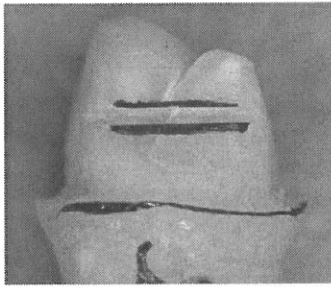
Dent n°43

Face linguale



mésial distal

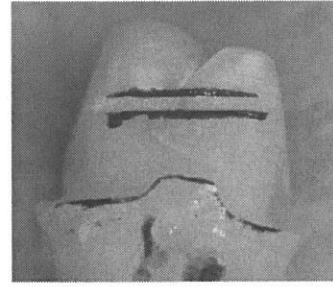
1ère G.GG



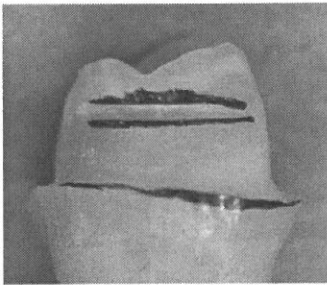
mésial distal

Dent n°44

Face vestibulaire



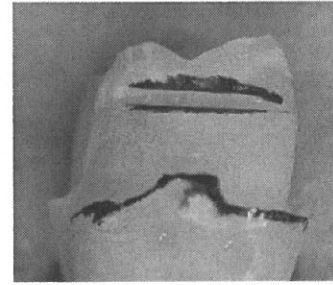
mésial distal
2^{ème} G.GF 1^{ère} G.GF



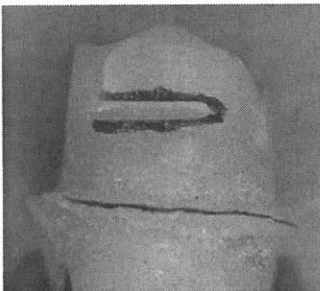
mésial distal

Dent n°44

Face linguale



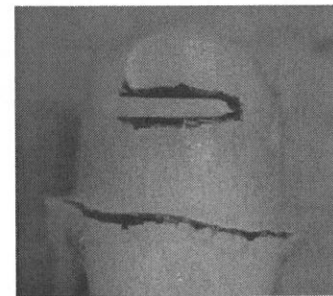
mésial distal
2^{ème} G.GF 1^{ère} G.GF



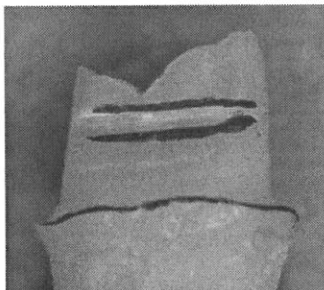
mésial distal

Dent n°45

Face vestibulaire



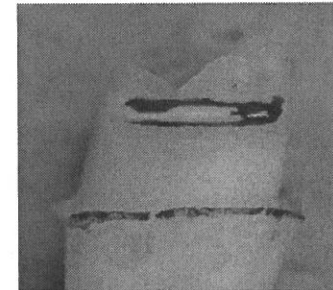
mésial distal
2^{ème} G.GF



mésial distal

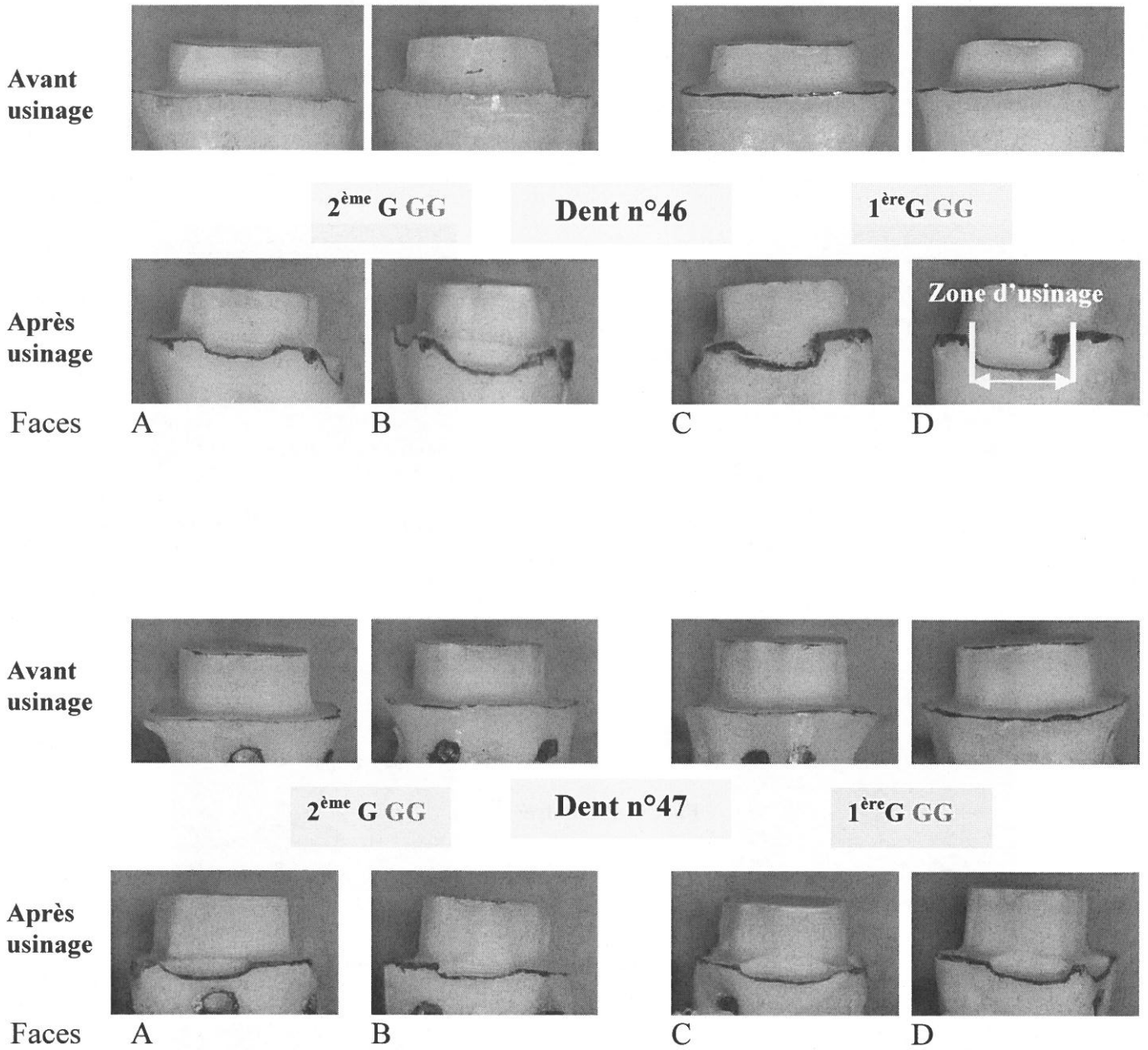
Dent n°45

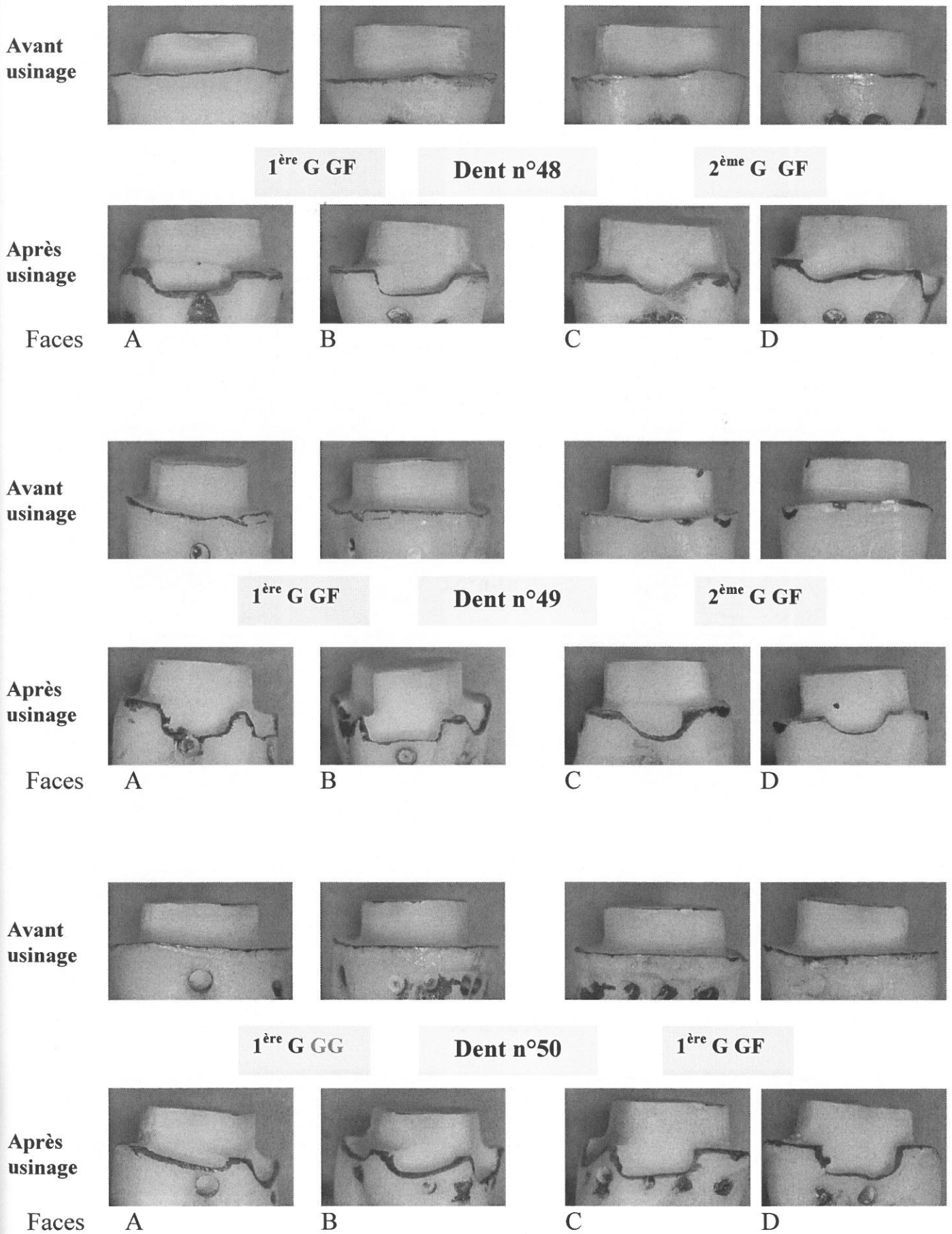
Face linguale



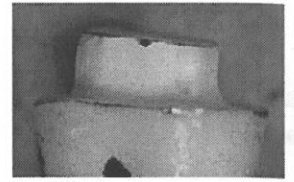
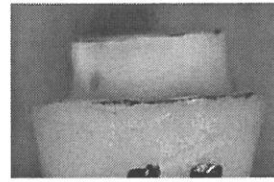
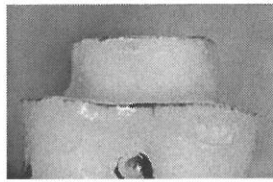
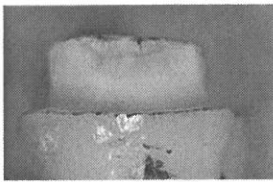
mésial distal
1^{ère} G.GF

Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.6





Avant usinage

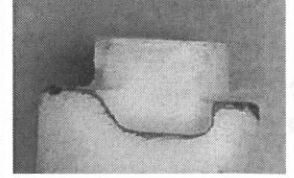
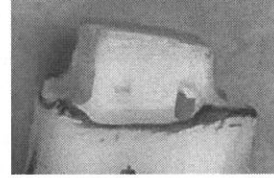
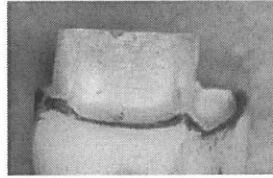
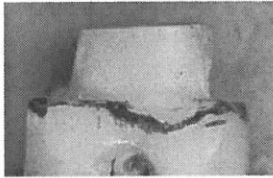


1^{ère} G GG

Dent n°51

1^{ère} G GF

Après usinage



Faces

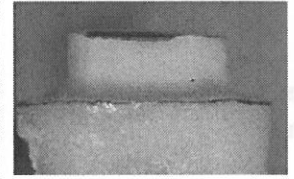
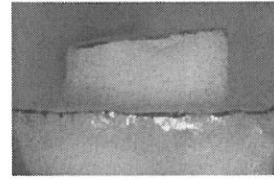
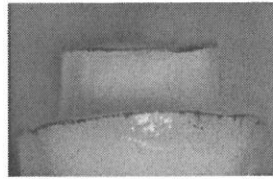
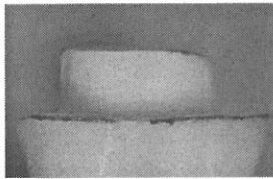
A

B

C

D

Avant usinage

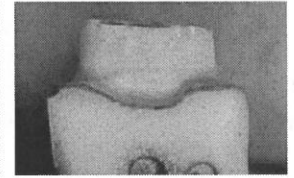
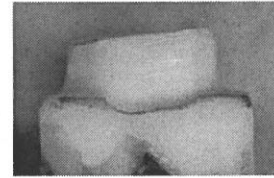
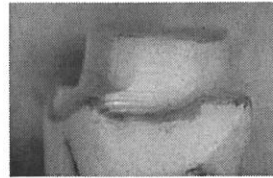
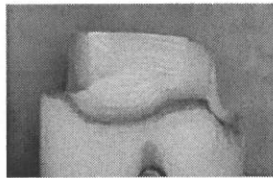


2^{ème} G GG

Dent n°52

2^{ème} G GF

Après usinage



Faces

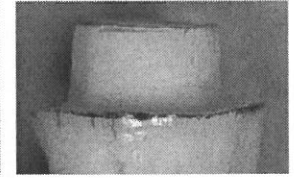
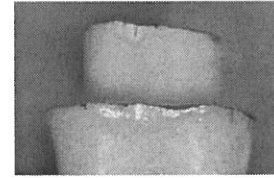
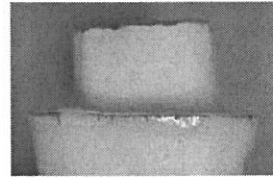
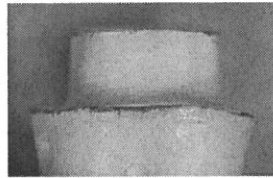
A

B

C

D

Avant usinage

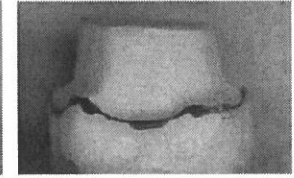
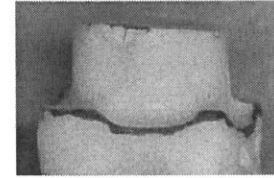
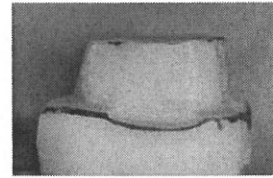
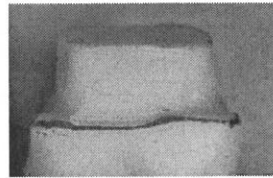


2^{ème} G.GG

Dent n°53

2^{ème} G GF

Après usinage



Faces

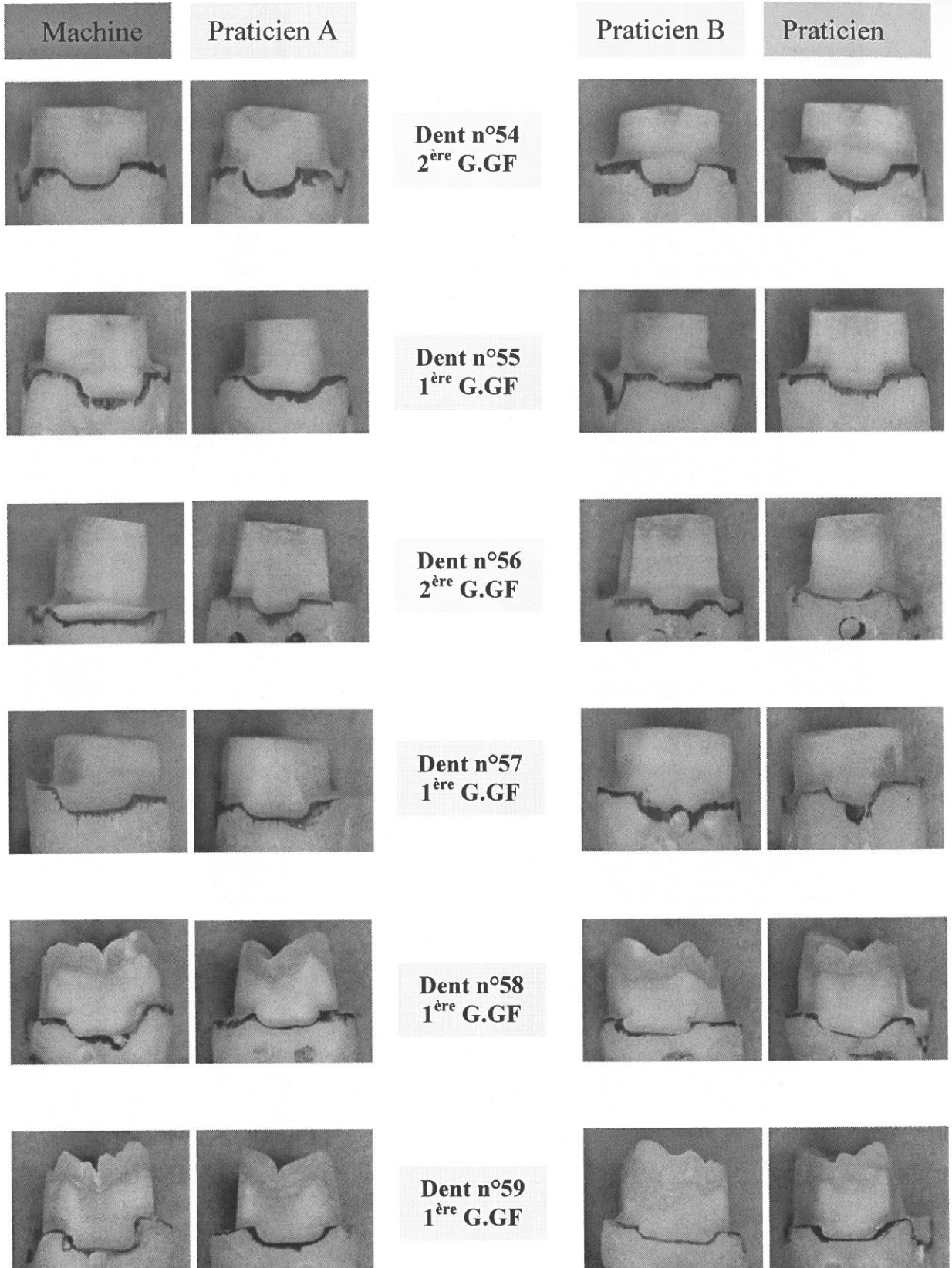
A

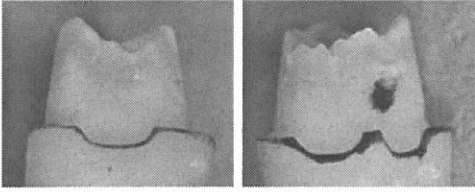
B

C

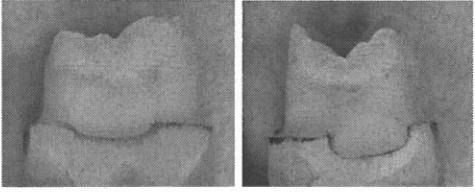
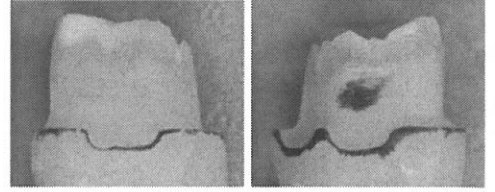
D

Aspect en Macrophotographie : expérimentation IV.2.2.7

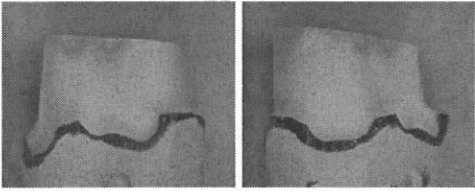
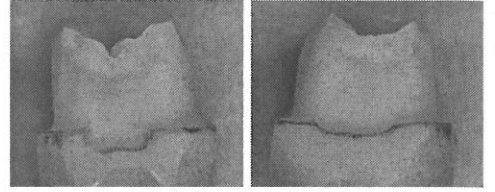




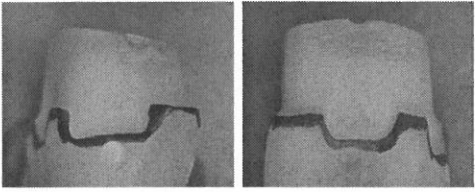
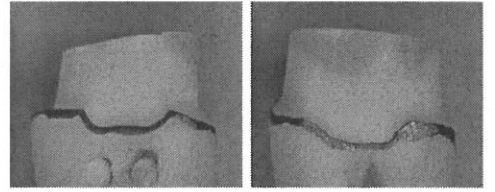
Dent n°60
2^{ère} G.GF



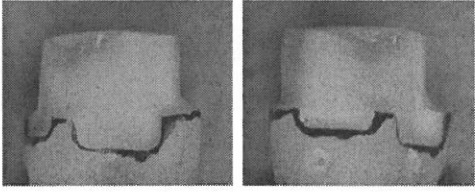
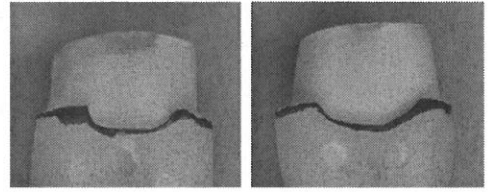
Dent n°61
2^{ère} G.GF



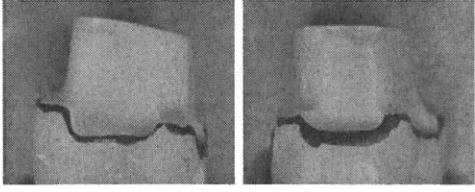
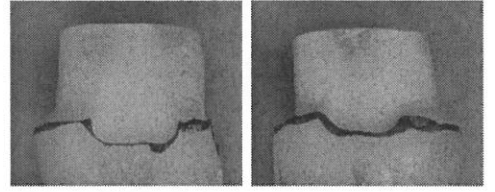
Dent n°62
1^{ère} G.GF



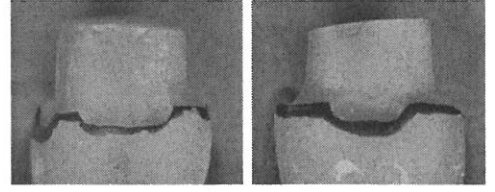
Dent n°63
2^{ère} G.GF



Dent n°64
1^{ère} G.GF



Dent n°65
1^{ère} G.GF



BIBLIOGRAPHIE

- (1) ACHE.M.- Influence de la nature des fraises utilisées en prothèse conjointe sur les critères d'état de surface des composites. – Thèse pour le diplôme de Docteur de 3^{ème} cycle de Sciences Odontologiques. Université René Descartes (PARIS V).
- (2) ACHE.M, GOLDBERG.M, LEFORT.A, RENAUX.Ph.-Action d'instruments rotatifs sur des composites de reconstitution coronaire: Proposition d'un protocole d'évaluation de l'action des instruments rotatifs et des états de surface.-Les Cahiers de Prothèse ; 74, 57-59 ;Juin 1991
- (3) AHMED.W, REGO.C, CHERRY.R, AFZAL.A, .ALI.N, HASSAN.IU.- CVD diamond : controlling structure and morphology.-Vacuum, Vol. 56(2000) pp153-158.
- (4) ARMAND.S. -Méthodologie des préparations corono-périphériques pour prothèses fixées à visées esthétiques.- Les cahiers de prothèse ; n°108 : 63-74 ; Décembre 1999.
- (5) ARMAND.S, GUYONNET.J.-J, VERGE.J, MARTY.C. - Evaluation du joint dento-prothétique dans les techniques céramo-métalliques utilisant des céramiques basses fusions. – Journal de Biomateriaux Dentaires, vol 8 ; 159-166 ; 1993.
- (6) AYAD.M.F, ROSENSTIEL.S.F, HASSAN.M.M.-Surface roughness of dentin after tooth preparation with different rotary instrumentation.-Journal of Prosthetic dentistry; 75:122.128.1996.
- (7) BARETY.J. –La reproduction des états de surface en prothèse conjointe : sa valeur, ses limites. – Les cahiers de prothèse, n°5. 33-50 ; 1973.
- (8) BASS.E.V et KAFALIAS M.C. – systematized procedures of crown preparation.- Journal of Prosthetic dentistry.,62 : 400-405.1989.
- (9) BELSER.U.C, MAC ENTEE.M.I, RICHTER.W.A. –fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: A scanningt electron microscopy study. – Journal of Prosthetic Dentistry; 53; n°1; 24-29; 1985.
- (10)BLANCHARD JP, GEOFFRION J, MARIESCU S, SURLEVE-BAZEILLE JE. –Choix du type d'éviction gingivale.- Réalités cliniques ; vol 4,4 ; Décembre 1993.
- (11)BORALEVI S. Optimisation de l'adaptation marginale des bridges entièrement céramique en Alumine zircone. Thèse 3^e cycle PARIS V, 1990.
- (12)BORGHETTI.A, MONNET-CORTI.V : -Chirurgie plastique parodontale. -Collection JPIO, Editions Cdp.
- (13)BOURRELY.G, PRASAD.A.- Le procédé Optec hsp: concepts et mise en œuvre au laboratoire.- Les Cahiers de Prothèse ; n°68 ;93-103 ; Décembre 1989.
- (14)BOYLE.J.J, NAYLOR.P, BLACKMAN.R.B. –Marginal accuracy of metal ceramic restorations with porcelain facial margins. – Journal of Prosthetic Dentistry; 69; n°1; 19-27; 1993.
- (15)BRECKER SC.- Porcelain baked to gold : a new medium in prosthodontics.- Journal of Prosthetic dentistry.1956 ;6 : 801.810.

- (16) BUTEL.E.M, CAMPBELL.J.C, DIFIORE.P.M. –Crown margin: A dental School survey.- The Journal of Prosthetic Dentistry. 65, 303-305; 1991.
- (17) BURKARD.H, STASSINAKIS.A.- Preparation and restoration of small interproximal carious lesions with sonic instruments.- Pract periodont Aesthet Dent;1998;10(3):353-359.
- (18) BYRNE.G.-Influence of finish-line form on crown cementation.-The International Journal of Prosthodontics.1992, 5; n°2 : 137-144.
- (19) CHICHE.J, PINAULT.A : Esthétique et Restauration des dents antérieures.-Editions CDP, PARIS 1995.
- (20) COMTE.A.L.- Effets de l'action d'instruments rotatifs diamantées sur l'émail et la dentine. Etude en microscopie électronique à balayage. -Jour.Biol.Buccale ; 11 ; 63.73 ;1983.
- (21) COONEY. JP, RICHTER. WA, MAC ENTEE. MI.-Evaluation of ceramic margins for metal-ceramic restorations.-Journal of prosthetic dentistry,54; 1:1-5. 1985.
- (22) CRISPIN.BJ, SEGHI.RR, GLOBE.H. –Effect of different metal ceramic alloys on the color of opaque and dentin porcelain.-Journal of Prosthetic dentistry; 1991;65:351.
- (23) DANIEL.X, COURANT.G.- In ceram zirconia ^r, la nouvelle dimension céramo-céramique.- Synergie prothétique,n°1 ; 1 :5-18, octobre 1999.
- (24) DEGORCE .T, PENNARD J.-Couronnes Empress sur dents dépulpées antérieures : De l'inlay-core céramisé au tenon cosmopost.- Les cahiers de prothèses,106 ;31-47 : juin 1999.
- (25) DEGRANGE M- Structure, propriétés des élastomères et précision des empreintes. Actualités Odonto-Stomatologiques, n°191, septembre 1995.
- (26) DIETSCHI.J.M, CIUCCHI.B, CERGNEUX.M, HOLTZ.J. –Etude comparative au MEB de la mise en forme du canal après préparations manuelle, mécanisée, sonique et ultrasonique. – Information dentaire ; n°18 ; 1687-1691 ; Mai 1986.
- (27) DRAGOO.M.R. –Etude clinique du nettoyage sous-gingival avec instruments manuels et ultrasoniques. Première partie : Utilisation d'embouts ultra-soniques avec et sans modifications. – Revue Internationale de Parodontie et Dentisterie Restauratrice ;12, n°4 ; 311-323 ;1992.
- (28) DRAGOO.MR, WILLIAMS.GB.-Periodontal tissue reactions to restorative procedures. Int J Periodont Rest Dent; 1 (1); 9; 1981.
- (29) EAMES.W.B, WALLACE.S.W ?SUWAY.N.B.- Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials.- The Journal of Prosthetic Dentistry; 1979; 42; n°2: 159-162.
- (30) FLEITER. B et MARTIN D .- Critères d'intégration Parodontale et esthétique des constructions céramiques antérieures.- journal de Parodontologie.,2 :215.224.1995.
- (31) FRADEANI.M, BARDUCCI.G. –Restaurations en vitrocéramique : Indications et mode d'emploi.- Alternatives, n°10 ; 55-63. Mai 2001.

- (32) GARGIULO. AW, WENTZ. FM, ORBAN.B. –Dimensions and relations of the dento-gingival junction in humans.- J.Periodontol; 1961;32:261.
- (33) GIROT.G.-Méthodologie des préparations.-Réalités cliniques ;vol 7,n° 4 ;415-430 ;1996.
- (34) GRAJOWER.R, ZUBERI.Y, LEWINSTEIN.I.- Improving the fit of crowns with die spacers.- Journal of Prosthetic Dentistry, 1989 May, 61; 5: 555-563.
- (35) GUYONNET.J.J, JONNIOT.B. -Analyse de l'instrumentation rotative diamantée, critères de standardisation. -Information dentaire,n° 31,2857-2861 ;1983.
- (36) HARRISON.L, HUFFMAN.T, GOLDFOGEL.M. – All porcelain labial margin for ceramometal crowns. –Journal of Esthetic Dentistry,4; n°5; 154-158; 1992.
- (37) HESS D, MAGNE P et BELSER U.- Forme de rétention et de résistance des préparations dentaires.- Revue Mensuelle Suisse d'Odontostomatologie ., 102 : 917-923 ;1992.
- (38) HOLMES. JR, BAYNE SC, HOLLAND GA, SULIK WD.-Considerations in measurement of marginal fit. – Journal of prosthetic dentistry,62;4 : 405-408, 1989.
- (39) HUGO B, STASSINAKIS A.- Preparation and restoration of small interproximal carious lesions with sonic instruments.- Pract Periodont Aesthet Dent. 1998;10;3:353-359
- (40) HUNG SH, HUNG KS, EICK JD, CHAPPELL RP.-Marginal fit of porcelain fused to metal and two types of ceramic crowns.- Journal of Prosthetic Dent. 1990;63;26-31.
- (41) JEFFREY T- Construction of combination porcelain to gold and porcelain jacket.-Natl Ass Cert Dent Lab.,1969; 16: 17.8.
- (42) JONNIOT.B, GUYONNET.J.J, PALOUDIER.G. -Etude comparative des états de surface déterminés au niveau des tissus dentaires par l'emploi d'instruments rotatifs diamantés de granulométries et de diamètre différents. – L.Q.O.S, n°23, 177-192 ; 1981.
- (43) JORGENSEN KD.-The relationship between retention and convergence angle in cemented veneer crown.-Actua odontol scand, 1955,13,35.
- (44) JEFFREY.T.-Construction of combination porcelain to gold and porcelain jacket.- Natl Assoc Cert Dent Lab 1969;21:227-34.
- (45) KENNETH BM, RUSSELL MM, RAZZOOG ME, LANG BR.-Precision on fit: The Procera Allceram crown.- The Journal of Prosthetic Dentistry.1998;80;4;394-404.
- (46) KENT.W.A, SHILLINBURG H.T et DUCANSON M.G.-a clinical study of preparations for cast restorations.I. Tager.- Quintessence international.(in press).
- (47) KESSLER JC, DONAVAN TE, PRESSWOOD RG.- The direct lift off technique for constructing porcelain margins.- Quintessence Dent Tech. 1983;50: 793.6.

- (48)KNELLESEN C, GIROT. G.- anatomie coronaire prothétique en rapport avec le parodonte.- Les cahiers de prothèse ;29 :83.84 ; 1980.
- (49)KOCZARSKI MJ, MITCHELL AL.- Direct inlay restorations: Utilization of sonic preparation technology in conjunction with ceramic inserts.- Pract Periodont Aesthet Dent 1999;11;1:67-73.
- (50)KREJCI I, DIETSCHI D, LUTZ FU.-Principles of proximal cavity preparation and finishing with ultrasonic diamond tips.- Pract Periodont Aesthet Dent. 1998;10,3:295-298.
- (51)KULIRALO.M.- Du rôle des états de surface en médecine dentaire : aspect, finition de surface.- Cahiers de Prothèse ;42 : 127-135.1983.
- (52)LABORDE G, BORGHETTI A, GILARDENGHI M,HERAUD J. -Réalisation et accès aux limites intrasulculaires : vers la stabilité du parodonte marginal.- Les cahiers de prothèse,62 :6-17,1988.
- (53)LAFORGIA.P.D, MILANO.V, MOREA.C, DESIATE.A;- Temperature change in the pulp chamber during complete crown preparation. –The Journal of Prosthetic Dentistry. 1991;65,n°1: 56-61.
- (54)LAUNOIS.C, SCHITTLY.J. –L'épaulement chanfreiné: etude comparative des états de surface créés par des fraises d'utilisation courante. –Les cahiers de prothèse, n°37, 39-48, janvier 1982.
- (55)LAUFER.B.Z, PILO.R, CARDASH.HS.-Surface roughness of tooth shoulder preparations created by rotary instrumentation, hand planing, and ultrasonic oscillation.-Journal of prosthetic dentistry ; 75 : 4-8 ; 1996.
- (56)LAURENT.M. – La rétention de la couronne creuse de revêtement en fonction des états de surface. –Thèse de 3^{ème} cycle : Sciences Odontologiques. Paris V. 1988.
- (57)LAURENT.M, ABOUDHARAM.G, LAPLANCHE.O, LABORDE.G.-Céramique sans armature métallique. Quels procédés pour quelles indications?.- Les cahiers de Prothèse,119 ; 7-15 : septembre 2002.
- (58)LIGER.F, ESTRADE.D.-Préparations pour céramiques et céramo-métalliques.-Editions CDP, PARIS 1996.
- (59)LOMANTO.A, WEINER.S. A comparative study of ceramic crown margins constructed using different techniques. - Journal of Prosthetic Dent ; 1996 ; 67 : 773.
- (60)LORMEE.J, DANAN.M, SAUVAN J.L, BOUNIOL.C et VASSALO.A.-préparation parodontale des dents supports.- Journal de Parodontologie,5 :303-312,1986.
- (61)MAC LEAN JW, SCED IR.- The bonded alumina crown.1.The bonding of platinum to aluminous dental porcelain using tin oxide coatings. Aust dent J. 1976; 21: 119.
- (62)MASSIRONI .D.-L'utilizzo di strumenti diamanti non rotanti a funzionamento ultrasonico.- Team work ; anno III ,1: 26-34;2001.

- (63)-MC ADAM. DB.- preparation of a 135-degree shoulder for a ceramo metal margin using an end-cutting bur.- Journal of Prosthetic Dent ;1985 ;54 ;473.
- (64)-MAC LEAN.J.W.-The future of dental porcelain in « Dental ceramics ».-Quintessence, Publishing Co,Inc pp.39.46 ; 1983.
- (65)-MAC LEAN.J.W. -Infrastructure des couronnes et des bridges tout céramique.-Cahiers de Prothèses, 83 : 13-19,1993.
- (66)MAC LEAN JW, VON FRAUNHOFER JA.- The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J.1971;131:107.11.
- (67)MAC LEAN JW, WILSON.D. – Butt joint versus bevelled gold margin in metal-ceramic crowns. – Journal of biomedical Materials Research, 14; 239-250; 1980.
- (68)MAGNE.P, BELSER.U.-Les préparations coronaires périphériques.- Réalités cliniques.vol 7,n°4 ;447-457 ;1996.
- (69) MAUNY.F ,SADOUN.M, DANIEL.X.- Les préparations coronaires périphériques pour procédés céramo-céramiques.-Réalités cliniques.vol 7,n°4 ;459-470 ;1996.
- (70)MAY. KB, RUSSELL. MM, RAZZOOG. ME, LANG. BR.-Precision on fit:The Procera Allceram crown. –Journal of prosthetic dentistry,80;4:394-404; 1998.
- (71)MAYNARD J, WILSON R. –Physiologic dimensions of the periodontium significant to the restoration dentistry. - J Periodontol ; 50; 170-174; 1979.
- (72)OILO.G, JORGENSEN.KD.-The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements.- J.Oral rehabili ; 1978 ;5 ;377.
- (73)OMAR.R. –Scanning electron microscopy of the marginal fit of ceramometal restorations with facially butted porcelain margins. - Journal of Prosthetic Dentistry; 58; n°1; 13-18; July 1987.
- (74)OWEN.CP.- Retention and resistance in preparation for extra coronal restorations. Part I : Theoretical studies.-Journal of prosthetic Dentistry ;56 :13-16 ,1986.
- (75)OWEN.CP.-Retention and resistance in preparation for extra coronal restorations.Part II :Practical and clinical studies.-Journal of Prosthetic dentistry ;56 :148-152 ;1986.
- (76)OZCAN.M, PFEIFFER.P, NERGIZ.I. –Marginal Adaptation of Ceramic Inserts After Cementation.- Operative Dentistry, 27;132-136;2002.
- (77)PISSIS.P et LECARDONNEL.A.- La restauration des Incisives Mandibulaires.-Art et techniques dentaires ; 6 :259.262 , 1995.
- (78)PRADELLE-PLASSE.N, KUHN.G.-Apport des techniques sono-abrasives dans l'élaboration des cavités proximales.- Revue d'Odonto-stomatologie ; 4 ;225-231 ; 2000.

- (79)PRICE.R.B, GERROW.J.D, SUTOW.E.J. MACSWEEN.R.-The dimensional accuracy of 12 impression material and die stone combinations.- The International Journal of Prosthodontics. 1991;4, n°2: 169-174.
- (80)PRICE.RB, SUTOW.E.J.-Micrographic and profilometric evaluation of the finish produced by diamond and tungsten carbide finishing burs on enamel and dentin.-Journal of prosthetic dentistry; 60 ; 311-316, 1988.
- (81)PRINCE.J, DONOVAN.T. -the esthetic metal-ceramic margin: A comparison of techniques. - Journal of Prosthetic Dentistry; 50; n°2;185-192;1983.
- (82)PRINCE JP, DONAVAN TE, PRESSWOOD RG.- The all porcelain labial margin for ceramo metal restoration.a new concept. J Prosthet dent. 1983; 50: 793.6.
- (83)RAJAB.H, ALI.N, SEIN.H, CHERRY R and AHMED.W.-CVD process offers economical high quality cutting edge tools for teeth.- Materials World journal, Vol. 8, N°11 Novembre 2000, pp 17-19
- (84)RENAULT.P.-Precision des joints ceramique dents : étude comparée de deux méthodes de caractérisation, évaluation de quatre techniques d'élaboration.-Thèse de doctorat d'Université. PARIS V.1990.
- (85)RICHTER W.A et UENO.H.-Relationship of crown margin placements to gingival inflammation .-Journal of Prosthetic dentistry ; 30 :156-168,1973.
- (86)ROBIN.C, ANTONIOLI.G, MAGNE.P.- Préparation des piliers.-Les cahiers de Prothèse ;96 ;26-33 ;Décembre 1996.
- (87)ROGERS OW.- The dental application of electro-formed pure gold.1. Porcelain jacket crown technique. Natl Ass Cert Dent Lab. 1969;16: 17.8.
- (88)ROSNER.D.- Function, placement and production of bevels for gold castings.- J. Prosthet. Dent;1963;13:1160-1166.
- (89)SAMAMA.Y, OLLIER.J.-Une nouvelle approche dans l'élaboration des céramo-céramiques: Le système Procera. - Information Dentaire ; n°3 ;161-171 ; 20 Janvier 1999.
- (90)SCHAERER.P, SATO.T et WOHLWEND.A.A.-Comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown system.-Journal of Prosthetic dentistry ; 59:534-542,1988.
- (91)SEYMOUR.K, DAYANANDA.Y.D, SAMARAWICKRAMA, LYNCH.E.J. -Metal ceramic crowns-a review of tooth preparation.- Eur.J.Prostodont. Rest ; Dent,vol 7,n°2/3,pp79-84 ;1999.
- (92)SHILLINBURG.H, JACOBI.R, BRACKETT.S. -Les préparations en Prothèse fixée . Trad.franç. de F. Liger.Paris,Editions CDP, 1988.
- (93)SORLIE J.- Effet du détartrage surfaçage polissage sur des surfaces radiculaires. Etats de surface : Etude au MEB.-Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université de Montpellier, 1991.

- (94) THILO.B, CHAPUIS.B, PERNET.D, BAEHNI.P. –Les détartreurs ultrasoniques et soniques en Parodontie. –Revue mensuelle Suisse Odontostomatologie, vol.100 ; 3 ; 269-273 ;1990.
- (95) TOUCHARD D.-Comparaison et choix entre les différentes techniques de détartrage : Manuel et ultrasonique.-Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université de Nantes, 1988.
- (96) TSUEN LIN.M, MUNOZ.JS, MUNOZ.CA, GOODACRE.CJ, NAYLOR.WP.-The effect of tooth preparation form on the fit of procera copings.- The international journal of Prosthodontics,11,6,1998:580-589.
- (97) TUNTIPRAWON.M. –Effect of tooth surface roughness on marginal seating and retention of complete metal crown. -Journal of Prosthetic dentistry; 1999;81,n°2; 142-147.
- (98) TUNTIPRAWON.M, WILSON.PR.- The effect of ciment thickness on the fracture strength of all ceramic crowns.- Aust Dent J;1995;40: 17-21.
- (99) VAHIDI.F, EGLOFF.ET, PANNO.FV.-Evaluation of marginal adaptation of all ceramic crowns and metal ceramic crowns.-Journal of Prosthetic dentistry ;1991;66:426.
- (100) VASSILAKOS.N, PINHEIRO FERNANDES.C. – Surface properties of elastomeric impression materials.- J.Dent.1993; 21: 297-301.
- (101) VICKERY.RC, BADINELLI.LA,WATKE.RW.- The direct fabrication of restorations without foil on a refractory die.-J Prosthet Dent;1969;21:227-34.
- (102) VRYONIS.P.- A simplified approach to the complete porcelain margin.- J Prosthet Dent;1979;42:592-3.
- (103) WAHLE.J.J, WENDT.S.L.Jr.-Dentinal surface roughness: A comparison of tooth preparation techniques.- Journal of Prosthetic dentistry ; 69: 160.164:1993.
- (104) WEAVER JD, JOHNSON GH, BALES DJ.- Marginal adaptation of castable ceramic crowns.- Journal of Prosthetic Dentistry. 1991;66:747-753.
- (105) WILSON.RD, MAYNARD.G.- Intra crevicular restorative dentistry.-Int J Periodont Rest Dent ; 1(4);35. 1981.
- (106) ZENA.RB, KHAN.Z ; VON FRAUNHOFER.J.A.-Shoulder preparations for collarless metal ceramic crowns : hand-planing as opposed to rotary instrumentation.- Journal of Prosthetic dentistry; 62: 273-277, 1989.
- (107) ZIMMERMAN.O.- Données actuelles sur l'adaptation marginale des reconstitutions esthétiques unitaires en prothèse fixée non composite.- Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en Chirurgie Dentaire. Université René Descartes (Paris V). Présentée et soutenue publiquement le 4 Décembre 1986.