

UNIVERSITE DE STRASBOURG
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2015

N° 66

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

par

BLUNTZER Arnaud

né le 30 août 1989 à COLMAR

**Le polissage des céramiques :
étude comparative *in vitro***

Présidente : Professeur Béatrice WALTER
Assesseurs : Professeur Maryline MINOUX
Docteur Michel FREYMANN
Docteur Olivier ETIENNE
Membre invité : Docteur Léandro JACOMINE

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier les membres de mon jury de thèse :

Madame le Pr Walter, qui nous fait l'honneur de présider ce jury, pour vos compétences et votre patience,

Monsieur le Dr. Etienne, mon Directeur de Thèse, qui m'a fait découvrir le monde de la recherche, pour votre soutien et vos encouragements, et enfin, pour le temps consacré à la lecture de mes travaux,

Monsieur le Dr. Freymann, pour vos conseils et votre sympathie qui m'ont marqué,

Madame le Pr. Minoux, pour vos conseils en clinique et en travaux pratiques,

Monsieur Jacomine, que nous sommes heureux de compter parmi les membres de ce jury en tant que représentant du monde ingénieur, pour toute votre aide et le temps passé à m'aiguiller.

Monsieur Gauthier, Directeur du laboratoire du CNRS, pour votre accueil et mise à disposition de l'appareil microscope.

Les fabricants de matériaux dentaires, en particulier les sociétés Ivoclar-vivadent et Komet, qui ont eu la gentillesse de me fournir les matériaux nécessaires à cette étude.

J'aimerais aussi remercier tout le personnel, enseignants, attachés, assistantes, de la Faculté Dentaire qui nous ont permis de passer des années agréables tout au long du parcours scolaire.

Enfin, toutes mes sincères pensées à ma famille et mes amis,

À mes parents et grands-parents, merci pour votre soutien au quotidien,

À mon grand frère, qui a été un exemple,

À mes amis : JP, Andreï, Paul B., PN, Paul G., Caroline, Camille, merci pour les moments partagés,

À mes copains de promos : Romain, Hugo, Alice, Martin, Camille, Josèphe, Alain, les heures passées en amphithéâtre et en dehors auront été courtes ...!

À ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Table des matières

INTRODUCTION.....	7
I. Les Céramiques	8
1. Généralités	8
2. Propriétés générales	9
2.1. Propriétés mécaniques	9
2.1.1. Facteurs influençant la résistance mécanique	11
2.2. Propriétés physiques	12
2.3. Propriété chimique : la bio-inertie	13
2.4. Propriété biologique	13
3. Différentes céramiques	14
3.1. Plusieurs classifications existent à l'heure actuelle.	14
3.2. Classification selon la composition chimique	15
3.2.1. Les vitrocéramiques	15
3.2.2. Les céramiques alumineuses renforcées	17
3.2.3. Les céramiques denses ou « polycristallines »	18
3.3. Microstructure des matériaux	18
3.4. Synthèse de certaines propriétés en fonction du type de céramique.....	18
II. Finition et polissage	19
1. Etat de surface	19
1.1. Généralités.....	20
1.2. Différents écarts géométriques de l'état de surface	20
1.3. L'état de surface se compose de 3 éléments	21
1.3.1. Rugosité (ordre 3).....	21
1.3.2. Ondulation (ordre 2)	22
1.3.3. Ecarts de forme (ordre 1)	22
1.3.4. Microrugosité (ordre 4)	23
1.4. Paramètres d'états de surface et séparation des écarts géométriques	23
1.5. Mesure de l'état de surface : microscope 3D	24
1.5.1. La microscopie confocale	24
1.5.2. L'interférométrie.....	25
1.5.3. Fonctionnement et généralité concernant les microscopes 3D	26
1.6. Etat de surface de l'émail	27
1.6.1. Topographie	27
1.6.2. Propriétés, organisation structurale et rugosité.....	27
1.6.3. Modificateur de l'état de surface de l'émail au cours du temps	28
1.7. Etat de surface des céramiques	29
1.7.1. Microstructure et macrostructure.....	29
1.7.2. Modificateurs de l'état de surface des céramiques avec le temps.....	29
2. Paramètres de rugosité.....	30
2.1. Paramètre de rugosité arithmétique Ra.....	30
2.2. Paramètre de rugosité quadratique	31
2.3. Paramètres d'asymétrie Rsk et de kurtosis Rku.....	31
3. Moyen de polissage et de lustrage	32
3.1. Facteurs d'influence de la finition et du polissage	33
3.2. Les différents abrasifs.....	34
3.3. Matériels	35
3.3.1. Les instruments diamantés/fraises	36

3.3.2. Les élastomères abrasifs	37
3.3.3. Pâtes à polir et accessoires (méthode de polissage à « trois-corps »).....	38
4. Polissage au laboratoire.....	38
4.1.1. Technique de finition : finition par glaçage	39
4.1.2. Technique de finition par polissage mécanique	39
5. Polissage au cabinet dentaire – Corrections intra-orales	39
5.1. Justification des corrections intra-orales	39
5.1.1. Retouches lors de l'insertion	39
5.1.2. Retouches lors de l'entretien.....	41
5.1.3. Influence de la salive sur l'état de surface	41
5.2. Contrôle de l'occlusion.....	41
5.2.1. Statique	41
5.2.2. Dynamique	42
5.3. Méthodologie et technique de retouche	43
5.3.1. Matériel.....	43
6. Incidence des états de surface et critère de polissage	44
6.1. Etat de surface et parodonte	44
6.1.1. Influence de l'état de surface sur le film salivaire.....	44
6.1.2. Influence de l'état de surface sur l'adhésion bactérienne	45
6.2. Etat de surface et résistance mécanique	45
6.3. Etat de surface et occlusion.....	46
6.4. Etat de surface et esthétique	47
6.5. Etat de surface, toxicité et allergie.....	49
6.6. Etat de surface et perception orale.....	49
6.7. Intérêts du polissage : synthèse	50
III. Matériels et méthodes lors de l'étude in vitro	51
1. Matériel.....	51
1.1. Différentes céramiques étudiées	51
1.2. Systèmes de polissage étudiés	52
1.2.1. Set de polissage conventionnel pour céramique (Optra Fine, Ivoclar vivadent).....	52
1.2.2. Set de polissage pour céramiques denses (réf 4637, Komet France)	53
1.3. Observation des états de surface – mesure de microscopie	55
1.3.1. Réglage du microscope :	56
1.4. Traitement des données	56
1.4.1. Logiciels informatiques	56
2. Méthodologie de l'étude	58
2.1. Observations et mesures.....	58
2.2. Retouches et polissage des céramiques	59
2.2.1. Kit OptraFine d'Ivoclar Vivadent.....	59
2.2.2. Kit 4637 pour céramiques denses KOMET	60
2.3. Traitement des données	60
2.3.1. Gwyddion.....	60
2.3.2. Excel.....	64
IV. Résultats	65
1. Statistiques descriptives.....	65
1.1. Visualisation graphique.....	65
1.1.1. Boîtes à moustaches	65
2. Statistiques analytiques	66
2.1. Indicateurs statistiques	66
2.2. Intervalle de confiance	66
2.3. Tests statistiques ou d'hypothèse.....	66
2.3.1. Analyse de la Variance : Test Anova	67
3. Résultats de l'étude et analyse statistique.....	68
3.1. Comparaison pour chaque céramique avant retouche et après retouche puis polissage avec les différents kits.	69
3.1.1. Analyse statistique des échantillons de zircone.....	69

3.1.2. Analyse des échantillons de céramique Emax Press LT Glacée.....	71
3.1.3. Analyse des échantillons de céramique Emax Press LT Polie et Glacée.....	73
3.1.4. Analyse des échantillons de céramique Emax CAD Glacée.	75
3.2. Comparaison pour chaque état de surface pour chaque type de céramique.	77
3.2.1. Avant retouches.....	77
3.2.2. Après retouches et polissage à l'aide du kit pour céramiques denses Komet.....	79
3.2.3. Après retouche et polissage à l'aide du kit OptraFine, Ivoclar	81
4. Synthèse des résultats.....	83
5. Discussion	85
CONCLUSION.....	89
ANNEXES.....	92
BIBLIOGRAPHIE.....	105

INTRODUCTION

La période actuelle et la société dans laquelle nous vivons font grand cas de l'esthétique, par une valorisation narcissique de notre aspect physique largement développée par les médias. Le domaine dentaire n'échappe pas à la règle, bien au contraire ; la denture, élément essentiel du sourire et participant de ce fait pour une grande partie à l'expression du visage, est un lieu privilégié de notre apparence physique. En effet, il ne serait pas exagéré de dire que le visage constitue en quelque sorte « la vitrine » de notre personne. La bouche et les dents sont associées à la jeunesse, la beauté, la vitalité, la sensualité et jouent un rôle social non négligeable à notre époque. Ainsi, la demande esthétique croissante met le chirurgien-dentiste face à d'importants et constants défis dont il faudra pouvoir saisir les différentes implications.

Avec l'évolution des méthodes de collage à disposition du chirurgien-dentiste, et dans le cadre du respect du gradient thérapeutique, les indications de mise en place d'inlay-onlays, d'overlays ou encore de veneerlays en céramique sont devenues fréquentes. Pour ce faire, l'utilisation de céramiques, stratifiées ou non, présente certaines exigences en lien avec les propriétés intrinsèques spécifiques de ces matériaux. En particulier, il n'est pas recommandé de régler l'occlusion avant le collage de l'élément prothétique, ceci afin d'éviter les risques de fracture. La conséquence directe de cet impératif est la nécessité de faire secondairement les retouches en bouche, après le collage. Le corollaire clinique direct est la nécessité d'assurer un polissage performant après ces retouches afin de pérenniser la restauration et de garantir son intégration biomécanique. Les praticiens sont ainsi directement confrontés à la difficulté du choix d'une technique et/ou d'un matériel répondant plus ou moins bien aux besoins de l'exercice clinique.

Dans ce contexte, le but du présent travail sera de faire le point sur la nécessité et les indications du polissage des céramiques en bouche, ainsi que sur les différentes possibilités s'offrant au chirurgien-dentiste lors du polissage de ces céramiques en bouche. La thèse sera composée de plusieurs chapitres incluant les généralités concernant les céramiques dentaires et leurs propriétés, la problématique posée par la finition et le polissage des céramiques ainsi que le protocole de collage spécifique et les moyens actuels à disposition du dentiste concernant les retouches et le polissage. Enfin, une étude de laboratoire menée en partenariat avec l'Institut Charles Sadron (CNRS, UPR 22) permettra de qualifier et de quantifier, grâce à la microscopie optique confocale, l'état de surface final obtenu selon différentes méthodes.

I. Les Céramiques

1. Généralités

Au fur et à mesure de l'évolution des technologies et des matériaux, la définition de la céramique s'est affinée. La définition initiale concerne la notion de terre cuite, de poterie : la céramique est donc l'art de façonner l'argile à l'état plus ou moins plastique et d'en fixer les formes et qualités définitives par cuisson [1, 2].

Aujourd'hui, les céramiques sont des matériaux de synthèse constitués à partir de matières premières essentiellement minérales (oxydes, carbures, nitrures et borures). Ce sont des biomatériaux inorganiques non métalliques à liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalente, leur conférant une faible réactivité chimique. D'un point de vue physico-chimique, il est ainsi possible de définir la céramique comme « un matériau inorganique non métallique, fragile, mis en forme à haute température à partir d'une poudre dont la consolidation mécanique fait appel à un frittage, à une cristallisation ou à un liant hydrique » [3]. Les céramiques ont une structure « bi-phasique », vitreuse et cristalline (fig. 1). Les matériaux utilisés en odontologie sont pour la plupart des verres chargés en plus ou moins grande quantité par une phase cristalline. Les céramiques ont en commun des procédés d'élaboration. Un ou plusieurs traitements thermiques confèrent au produit ses qualités définitives en induisant une transformation irréversible : séchage (déshydratation réversible), puis cuisson (déshydratation irréversible et modifications physico-chimiques durables) ou frittage.

Leurs qualités en odontologie sont l'esthétique et l'inertie chimique, source de biocompatibilité [4]. Les céramiques dentaires ont été soumises dès leurs origines à un double problème concernant leurs exigences esthétiques et leurs impératifs mécaniques.

L'inconvénient majeur de ce matériau est sa fragilité mécanique, malgré de grandes qualités optiques (notamment une translucidité proche de la dent naturelle) et biologiques. Ces dernières lui permettant d'être un matériau idéal de restauration dentaire. La fracture d'une céramique se fait par propagation d'une fissure à partir d'un défaut initial. Il a donc fallu renforcer ses propriétés mécaniques soit par renforcement de la céramique elle-même, soit en soutenant la céramique avec un support rigide suffisamment indéformable (procédés céramo-

métallique ou céramo-céramique). C'est la dispersion d'une teneur variable en phase cristalline dans la matrice vitreuse qui est susceptible de s'opposer à la propagation de fissures au sein du matériau [5].

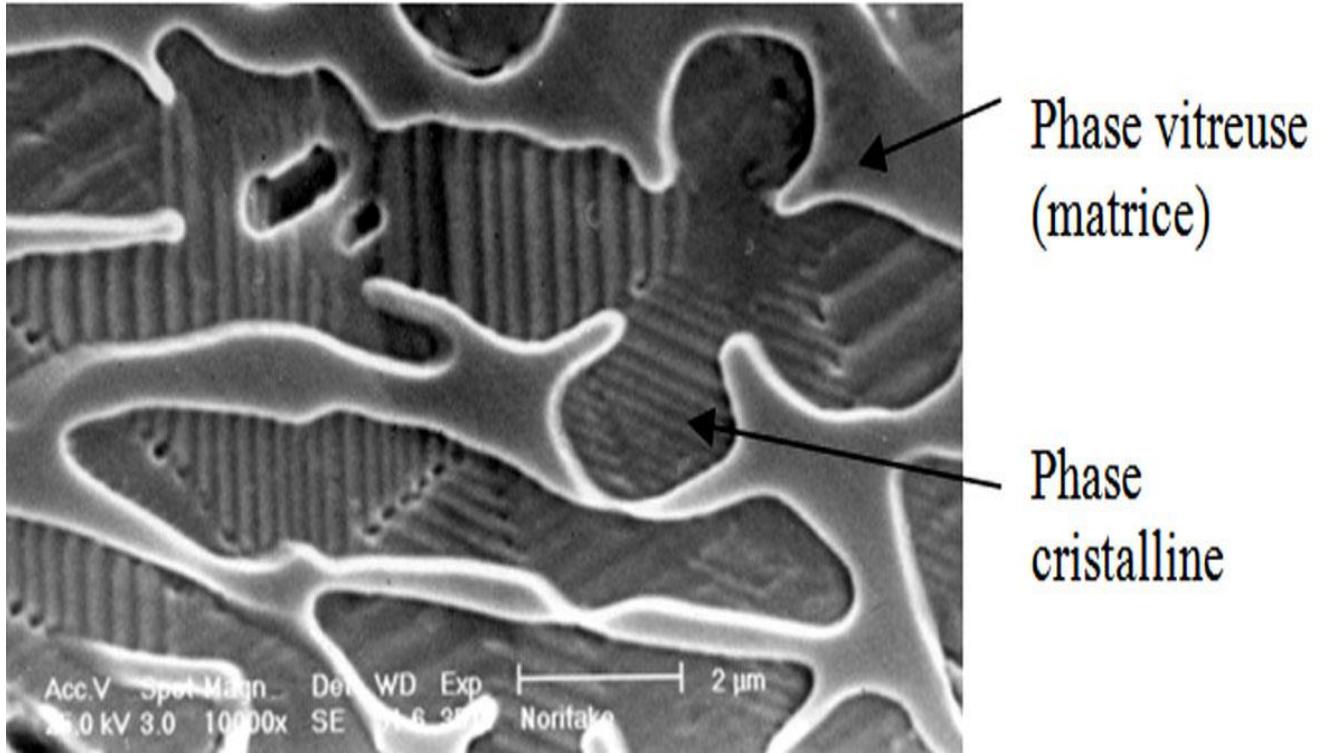


Figure 1 : Microphotographie en MEB d'une vitrocéramique (doc. J. DEJOUX, SFBD)

La composition et la microstructure ont une influence directe sur les propriétés mécaniques, optiques et thermiques des céramiques. De façon schématique, plus la composition en verre est riche, plus la céramique est translucide et fragile. Tout l'art des fabricants est donc de modifier ces compositions afin de proposer différentes options à partir du même matériau [6].

2. Propriétés générales

2.1. Propriétés mécaniques

Les céramiques dentaires sont peu résistantes en traction et flexion et très résistantes en compression. Leur caractéristique principale est la rupture dite fragile, c'est à dire sans déformation plastique. Depuis Griffith il est accepté que la fracture d'une céramique se fait

par propagation d'une fissure à partir d'un défaut initial. Depuis les années 80, la plupart des évolutions du matériau s'est traduite par une amélioration des propriétés mécaniques [1, 7, 8].

- Module d'élasticité

Il correspond au rapport entre la contrainte appliquée au matériau et sa déformation. Plus il augmente, plus la résistance à la déformation augmente.

Il se situe, pour la céramique, entre 60 et 70 GPa, contre 70 à 90 GPa pour l'émail humain.

- Résistance à la flexion

La résistance aux forces de flexion est relativement faible comparée aux autres valeurs de résistance de ces matériaux céramiques. La faible résistance à la flexion est due au fait que les liaisons ioniques au niveau atomique empêchent les glissements entre les plans, provoquant la rupture brutale sans déformation plastique. (Voir p. 18 tab. 1.)

- Résistance à la compression

Elle est égale ou supérieure à celle de l'émail : 350 à 500 MPa.

- Ténacité ou résistance à la fracture (MPa.m^{1/2})

Il s'agit de la résistance à la progression d'une fissure préexistante. La ténacité est une propriété essentielle. Une ténacité élevée peut laisser espérer une durée de fonctionnement élevé et donc une pérennité de la prothèse importante. (Voir p. 18 tab. 1.)

- Résistance à la fatigue

Sous une atmosphère humide, les contraintes appliquées, sans être aussi importantes que celles des tests de rupture ponctuels, peuvent induire l'apparition de fissures, et les traumatismes répétés provoquer leur propagation, pouvant ainsi mener à la fracture. La capacité du matériau à ralentir cette propagation caractérise sa résistance à la fatigue [9]. Plus la céramique est riche en phase cristalline plus sa résistance à la fatigue augmente.

- Dureté

La dureté est fixée en dureté Vickers. Les vitrocéramiques dentaires ont une dureté Vickers de 380 à 460 HVN, alors que l'émail ne titre que 340 HVN. A titre indicatif, la céramique feldspathique a une dureté de Vickers de 460 HVN et la zircone une dureté de 1200 HVN.

2.1.1. Facteurs influençant la résistance mécanique

- Le taux de porosité : il a une influence sur les qualités mécaniques et les propriétés optiques. Les blocs préfabriqués de céramique, destinés aux techniques d'usinage, ont une porosité presque nulle, comparativement aux céramiques réalisées manuellement. C'est pourquoi leurs propriétés mécaniques sont ostensiblement supérieures. Pour les méthodes manuelles, le taux de porosité est influencé par son mode de compactage, vibration ou ultra-sons, et par sa granulométrie. Une céramique à grains fins verra son taux de porosité nettement diminué. Le passage aux ultra-sons ou au vibreur densifie la céramique, augmentant sa résistance d'un facteur 4, comparativement à une céramique non densifiée. La cuisson a également un rôle dans la densité puisque une cuisson sous vide diminue le taux de porosité de 4% à 0,1%.
- La température de cuisson : l'augmentation de la température ou du temps de cuisson améliore les propriétés mécaniques du fait de la densification. Mais à un certain stade, elle a un effet néfaste et diminue les propriétés mécaniques par dissolution de certaines bases cristallines.
- La microstructure : la résistance augmente avec la proportion de phases cristallines et la quantité d'interface verre-cristal (contrainte interne, composition de la matrice vitreuse, géométrie).
- L'état de surface : il correspond au paramètre essentiel à la pérennité de la restauration puisque les fissures se propagent à partir des défauts de surface, aboutissant à long terme à la fracture. La diminution des défauts de surface est impérative, soit par polissage mécanique très fin, soit par glaçage qui obture les défauts initiateurs en surface [10].

Remarque : Une part importante de cristaux diminue la propagation des fissures mais réduit leur translucidité. La rupture des céramiques étant souvent initiée par extension brutale d'un défaut interne (porosité) ou de surface, la conception et la finition d'une céramique doit donc être parfaite pour assurer sa pérennité. Un polissage minutieux s'impose après chaque retouche. Le potentiel abrasif d'une céramique à l'encontre des surfaces antagonistes dépend de son état de surface et du manque d'homogénéité de sa structure. En effet, les microreliefs

de surface peuvent agir comme abrasif contre la surface opposée.

2.2. Propriétés physiques

La céramique se présente sous la forme d'un matériau dur, rugueux s'il n'a pas subi de glaçage. Sa composition minéralogique n'est pas modifiée pendant la cuisson, dont l'effet est seulement de faire fluer la phase vitreuse et d'assurer sa liaison chimique avec la phase cristalline. Les défauts du matériau (fissures et porosités) expliquent sa fragilité [1, 7, 11].

- **Conductibilité Thermique**

Les céramiques sont des isolants thermiques (conductivité = 0,01 J/s/cm²). Leur coefficient de dilatation thermique est adaptable en fonction de leur utilisation en modifiant la teneur en oxyde de potassium (K₂O) du verre. L'inertie thermique permet d'isoler le complexe dentino-pulpaire et les matériaux d'assemblage des variations de température.

- **Electriques**

Le déplacement des charges électriques ne pouvant se produire que par diffusion ionique, les céramiques sont des isolants électriques.

- **Optiques**

La coloration est d'une stabilité absolue grâce à l'introduction des oxydes colorant dans la « fritte ».

Au-delà des propriétés optiques, c'est l'impression visuelle qui compte. Celle-ci résulte de la combinaison de nombreux facteurs relatifs aux propriétés optiques de la surface, des différentes phases et des différentes couches, de la couleur et du spectre de la lumière incidente. Les rendus des diverses céramiques vont de l'opaque au transparent, avec des luminosités variables, des effets de fluorescence, d'opalescence, avec des couleurs et des saturations différentes. Tout ceci est obtenu en jouant sur la composition, la nature chimique, la taille, la quantité et l'indice de réfraction des charges cristallines et des pigments répartis dans la phase vitreuse. Il y a ainsi :

- un faisceau transmis influant la transparence,
- un faisceau atténué absorbé influant la translucidité,
- un faisceau réfléchi influant l'opacité.

2.3. Propriété chimique : la bio-inertie

La biocompatibilité est une caractéristique importante de toutes les céramiques. En effet, ces dernières sont dites bio-inertes chimiquement, électriquement et thermiquement. Leur structure chimique leur confère une grande stabilité, supérieure à celle des métaux et des résines, et ne présentent pas de dégradation par corrosion. Elle ne provoque aucune allergie.

L'excellence des états de surface entraîne une faible adhésion de la plaque dentaire. La bonne tolérance parodontale des céramiques sans armature a été constatée cliniquement depuis la réalisation des premières facettes en céramique feldspathique.

L'ensemble de ces avantages confère aux systèmes céramo-céramiques une excellente tolérance biologique, pulpaire et parodontale [11].

2.4. Propriété biologique

- L'effet des contraintes thermiques est minime en raison de la conductivité relativement faible, cependant si la technique ou la morphologie de la céramique est défectueuse, cet effet doit être pris en compte.
- Les céramiques sont plus stables vis-à-vis de leur environnement que les métaux. Néanmoins, elles ne sont pas inertes vis-à-vis des contraintes chimiques rencontrées dans le milieu buccal, notamment les céramiques basse fusion contenant une proportion plus importante d'alcalins et d'alcalino-terreux.
- Le comportement des céramiques en bouche va dépendre en majeure partie de leur état de surface donné par la qualité de glaçage, limitant ainsi la fixation de produits de dégradation buccaux et de plaque bactérienne [12, 13].

3. Différentes céramiques

3.1. Plusieurs classifications existent à l'heure actuelle.

- La classification de M. SADOUN en 1995, propose quatre types de céramiques [4] :

- Les céramiques haute fusion :

Elles ne sont indiquées que pour la confection de dents artificielles en prothèse adjointe. Leur température de fusion se situe dans l'intervalle 1 280 à 1 390° C.

- Les céramiques moyenne fusion :

Elles permettent la confection de jackets sur matrice de platine ou sur revêtement. Leur température de fusion se situe entre 1 090 et 1260°C.

- Les céramiques basse fusion :

Elles furent conçues pour la réalisation de couronnes céramo-métalliques par émaillage des métaux. La température de fusion doit être proche de celle des métaux employés à cet escient: entre 870 et 1 065°C.

- Les céramiques très basse fusion :

En fonction du coefficient de dilatation thermique, elles servent dans l'émaillage du titane, de l'or et la confection sur revêtement d'inlays, onlays. La température de fusion est comprise dans l'intervalle de 660 à 780°C. Leur originalité vient de l'incorporation d'ions hydroxyles dans la phase vitreuse et leur absence de phase cristalline.

- Par la suite, en association avec FERRARI, SADOUN proposa une nouvelle classification.

En raison de ses constatations sur la variation des propriétés des céramiques selon trois facteurs : leur composition chimique, leur structure et leur procédé de mise en forme. A ce jour, cette classification reste la référence dans le domaine des biomatériaux [2, 8, 14].

Il s'agit de la classification selon SADOUN et FERARRI comportant 3 groupes de céramiques.

Ces familles sont séparées en fonction de leur composition chimique. Les différents types se nomment ainsi [6] :

- Les céramiques dites vitrocéramiques comportant une matrice vitreuse, contenant des charges cristallines dispersées. Cette catégorie comporte en réalité deux familles de matériaux distincts : les céramiques feldspathiques et les vitrocéramiques :
 - ✓ disilicate de lithium ($\text{SiO}_2\text{-LiO}_2$) : Empress II®, EMax®,
 - ✓ leucite ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$) : Empress I®,
 - ✓ feldspathiques ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$), qui sont un groupe à part entière.
- Les céramiques à base alumineuse, qui comportent une phase cristalline avec, ou plus rarement sans, verre d'infiltration :
 - ✓ Oxyde d'aluminium (Al_2O_3) : Procédé In Ceram, Proceram Alumina®
- Les céramiques denses ou polycristallines, dans lesquelles il n'existe pas de phase vitreuse.

3.2. Classification selon la composition chimique

3.2.1. Les vitrocéramiques

Ce sont des matériaux de structure composite comprenant une phase vitreuse, appelée matrice de verre, renforcée par différentes phases cristallines. Elles comportent une haute teneur en phase dispersées (soit une proportion de phase cristalline noyée dans une matrice vitreuse). La phase cristalline octroie à ce matériau ses principales qualités mécaniques en s'opposant à la propagation des fissures par la création de nombreuses interfaces verre-cristal. La phase cristalline accroît donc la résistance et permet la disparition de la transparence du verre pour une opacité en cohérence avec les impératifs esthétiques [6]. Le collage est impératif pour ce genre de céramiques, car les propriétés physiques ne sont pas suffisamment bonnes pour sceller. Il est possible de distinguer plusieurs classes de vitrocéramiques.

a) Les céramiques feldspathiques

Ce sont les céramiques traditionnelles esthétiques destinées à la stratification des armatures céramiques ou métalliques.

Les céramiques feldspathiques sont constituées :

- sur le plan minéralogique : kaolin 5% (argile), quartz 15% et feldspath 80% (phase vitreuse)
- sur le plan de la composition chimique : de poudre d'oxydes tels que : silicium (silice SiO_2) 55 à 78 % aluminium (alumine) < 10 % et des oxydes alcalins modificateurs, ainsi que de fondants et pigments colorés frittés dans la matrice vitreuse [15].

Le feldspath est un mélange d'aluminosilicates de sodium et de potassium, et compose également la matrice vitreuse des céramiques. Le quartz compose la charpente cristalline. Afin d'améliorer leur résistance initiale faible (90-100 MPa), d'autres cristaux ont été adjoints à la structure initiales [6].

Indications : Les inlays/onlays, facettes ou couronnes unitaires peuvent être réalisés à base de céramiques feldspathiques. Cela peut être fait en méthode traditionnelle d'émaillage sur die réfractaire ou encore en CFAO directe ou indirecte. Les propriétés esthétiques des céramiques feldspathiques sont bonnes mais un maquillage est nécessaire pour reproduire la stratification naturelle de la dent. Des blocs multicouches peuvent remplacer ce maquillage, néanmoins trop peu de teintes différentes sont disponibles aujourd'hui. Cependant, leurs propriétés mécaniques sont faibles : les restaurations devant supporter des forces occlusales trop importantes sont donc à proscrire avec ce genre de céramique.

b) Les vitrocéramiques renforcées

Il existe deux grandes familles :

- feldspathiques renforcées à la leucite, c'est-à-dire celles dont la phase majoritaire est la leucite : Empress Esthetic® (Ivoclar®),
- feldspathiques renforcées au disilicate de lithium, c'est-à-dire celles dont la phase majoritaire est le disilicate de lithium, dont l'avantage est d'être plus résistante à la flexion : Emax press® et Emax CAD® (Ivoclar®). Cette céramique est composée également d'un matériau cosmétique à base de fluoroapatite.

Grâce à ce type de céramique, une résistance à la flexion d'environ 350 MPa est obtenue [6]. Ainsi les blocs et les lingotins de céramiques renforcées au disilicate de lithium présentent des propriétés optiques quasi similaires aux céramiques feldspathiques, mais avec des propriétés mécaniques supérieures [1, 16, 17].

Indications : ces céramiques sont utilisées pour réaliser des couronnes dans le secteur antérieur ou pour des restaurations partielles. Des restaurations postérieures plurales soumises à des contraintes occlusales importantes ne peuvent pas être envisagées avec ce type de céramique. Elles peuvent être mises en œuvre par usinage ou par technique pressée, avec ou sans stratification superficielle (option monolithique maquillée).

Les points forts de ces vitrocéramiques sont :

- de grandes propriétés esthétiques,
- un large panel de teintes proches du naturel,

- une haute résistance du matériau (350-400 MPa),
- une durabilité des restaurations dans le temps,
- une préparation peu invasive préservant la structure dentaire,
- une aptitude au collage par le mordantage de leur intrados.

Les céramiques renforcées au silicate de lithium, plus récentes (Suprinity, Celtra), possèdent aussi d'excellentes propriétés optiques qui assurent une remarquable esthétique finale.

Comme les céramiques feldspathiques traditionnelles, les céramiques feldspathiques renforcées doivent donc être collées afin d'avoir une liaison stable entre la dent et la restauration.

3.2.2. Les céramiques alumineuses renforcées

L'alumine est également appelée parfois oxyde d'aluminium, avec pour formule chimique Al_2O_3 . Il s'agit d'un composé chimique existant déjà à l'état naturel sous forme d'oxyde d'alumine hydratée mélangée à de l'oxyde de fer [6]. L'alumine est semi-translucide et ses propriétés mécaniques sont excellentes [1]. La microstructure de ce type de céramique est décrite comme une « matrice cristalline avec phase vitreuse infiltrée ». Les espaces vides entre les particules d'oxyde d'aluminium, sont comblés avec un verre de lanthane. La proportion d'alumine contenue dans le produit est d'environ 90% [6].

La nature des grains utilisés permet de différencier trois céramiques alumineuses infiltrées :

- In Ceram Spinell®, ayant une très grande transparence, confère d'excellents résultats esthétiques pour la reconstruction de dents antérieures. Elle est indiquée pour les facettes.
- In Ceram Alumina®, plus opaque mais avec de très bonnes propriétés mécaniques, elle sert d'infrastructures pour des couronnes unitaires dans les secteurs antérieur et postérieur.
- In Ceram Zirconia®, contient 33 % de zircone et 66 % d'alumine. Elle est la plus tenace mécaniquement et la plus opaque. Elle est utilisée pour masquer une dent ou un support très foncé, et quand les propriétés mécaniques sont indispensables, dans les cas d'infrastructures unitaires postérieures ou pour de petits bridges. A ne pas confondre avec la zircone.

Indications : L'alumine est principalement utilisée pour la réalisation de dents antérieures, plus rarement des dents postérieures. Elle a la particularité de très bien laisser passer la lumière (transparence) en rendant ainsi possible son utilisation pour des éléments unitaires et petits bridges. [4].

3.2.3. Les céramiques denses ou « polycristallines »

Il existe 2 familles :

- les alumines denses,
- les céramiques à base d'oxyde de zirconium.

Cette nouvelle céramique enrichie possède ainsi une ténacité plus importante que les autres types de céramiques. C'est une céramique biocompatible et esthétique à haute performance mécanique et avec un pouvoir réflecteur très important mais surtout solide. Il est possible de la colorer pour atténuer ses caractéristiques réflectrices [1, 4].

Indications : de la couronne unitaire aux bridges antérieurs et postérieurs de longue portée.

3.3. Microstructure des matériaux

Les vitrocéramiques sont constituées de cristaux dispersés enrobés d'une matrice vitreuse. Il s'agit donc de beaucoup de verre et des cristaux distincts.

Les céramiques alumineuses infiltrées sont formées de cristaux imbriqués les uns dans les autres et une matrice vitreuse est infiltrée dans l'espace restant. Il s'agit donc de moins de verre et plus de cristaux.

3.4. Synthèse de certaines propriétés en fonction du type de céramique

Matériaux céramique	Nom commercial	Flexion MPa	Ténacité $\frac{\text{MPa.M}}{2}$	Translucidité	Aptitude au collage
Feldspathique		90	1.6	+++	+++
Feldspathique renforcée à la leucite	Empress® Esthetic	160	1.3	++	+++
Disilicate de lithium	e.max Press®	400	2.75	4 degrés de translucidité existent	+
Alumine infiltrée	In-ceram® Spinell	350	2.2	+++	-

Tableau 1 : Principales caractéristiques de céramiques utilisées pour la réalisation des facettes céramiques [6].

II. Finition et polissage

La finition, étymologiquement, « phase d'achèvement d'un travail, manière de donner un aspect fini » selon LAROUSSE [18], peut être définie, dans son acception odontologique, comme étant la succession des étapes instrumentales conduisant, pour toutes les parties d'une obturation, à la réalisation d'un état de surface compatible avec les impératifs biologiques, physiologiques, mécaniques et esthétiques requis dans l'environnement buccal. Elle a pour but de faire disparaître les irrégularités, en surface et sur les bords des obturations, et de rendre celles-ci lisses et brillantes. L'expérience clinique montre que cette démarche est indispensable [19].

La finition d'une reconstitution comprend trois phases : la sculpture, le polissage et le brillantage (lustrage) [20, 21]. Seules les deux dernières phases concernent notre travail.

- La sculpture : il s'agit de supprimer les excès de matériau, gommer les éventuels défauts de coffrage, rectifier les contours et parfaire les profils de manière à adapter le matériel.
- Le polissage : a pour but essentiel de faire disparaître les défauts occasionnés par la sculpture, et créer une surface régulière et lisse.
- Le lustrage : vise à donner à l'obturation un aspect brillant, le plus proche possible de celui de l'email [19].

1. Etat de surface

Afin de pouvoir parler de polissage il semble important tout d'abord de définir et de décrire ce qu'est un état de surface.

Une surface réelle, usinée ou dentaire, n'est jamais parfaite. Elle présente toujours des marques, des défauts venant d'imperfections ou d'erreurs, créés au moment de sa fabrication ou de sa constitution.

1.1. Généralités

L'état de surface est caractérisé par :

- l'état physico-chimique de la surface, c'est-à-dire la nature de la couche superficielle,
- l'état géométrique de la surface. Il s'agit d'une notion plus générale commune à tous les matériaux. C'est le relief d'une surface qui est défini dans deux plans de l'espace et qui est composée de la micro-géométrie (rugosités) et macro géométrie (forme/ondulation) [22, 23].

Les objectifs en prothèse fixée sont de rétablir à la fois la fonction et l'esthétique, ceci dans un souci d'intégration biomécanique. L'état de surface des restaurations céramiques interagit sur chacun de ces facteurs.

En effet, la finition des états de surface nous permet d'améliorer les propriétés mécaniques, esthétiques et biologiques de la céramique. Elle permet également de contrôler plus précisément l'ajustage occlusal et cervical en fonction de l'âge, de la forme, de la position de la dent, donnant un caractère personnel à chaque dent. De ce fait, imiter parfaitement une dent naturelle, à la fois au niveau de ses propriétés physique et mécanique ainsi qu'esthétique, nous oblige à étudier tout d'abord sa micro et macro structure superficielle, afin de reproduire au mieux la finition d'un état de surface naturel.

En mécanique, l'état de surface est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées.

1.2. Différents écarts géométriques de l'état de surface

Un profil de surface est la courbe résultant de l'intersection de la surface réelle et d'un plan spécifié. Ce plan est perpendiculaire à la surface de l'échantillon et orienté généralement perpendiculairement au sens des stries d'usinage. Un profil de surface, outre la forme nominale de la pièce, est composé de différents écarts géométriques, auxquels correspondent différents profils [22] :

- profil P (*profile*), profil primaire (ordre 1 + 2 + 3 + 4), sur lequel sont définis les paramètres de structure, désignés par un symbole commençant par la lettre P, par exemple Pt, Pa, etc...

- profil W (*waveness*), profil d'ondulation (ordre 2), sur lequel sont définis les paramètres d'ondulation, désignés par un symbole commençant par la lettre W, par exemple Wt, Wa, etc...
- profil R (*roughness*), profil de rugosité (ordre 3 + 4), sur lequel sont définis les paramètres de rugosité, désignés par un symbole commençant par la lettre R, par exemple Rt, Ra, etc...

C'est ce profil qui est étudié dans le cadre de l'étude in vitro de cette thèse.

Ordres	Écarts géométriques	Profils	Fréquences des défauts
<i>Ordre 1</i>	Ecart de forme	Profil P	Basse
<i>Ordre 2</i>	Ondulation	Profil W	Moyenne
<i>Ordre 3 et 4</i>	Rugosité	Profil R	Haute

Tableau 2 : Les écarts géométriques, leurs profils et la fréquence des défauts.

Ecart géométrique	Distance entre les pics comprise entre (en micron)
<i>Rugosité</i>	2 et 250 à 900
<i>Ondulation</i>	250 à 900 et 2 500 à 8 000
<i>Ecart de forme</i>	2 500 à 8 000 et longueur de l'élément

Tableau 3 : Classement « pratique » des différents écarts géométriques

1.3. L'état de surface se compose de 3 éléments

1.3.1. Rugosité (ordre 3)

Elle se mesure avec un rugosimètre, un profilomètre ou un microscope 3D. La rugosité concerne les défauts micro géométriques de la surface. Ils sont évalués après filtrage de la surface réelle à l'aide d'un filtre passe-haut ne retenant que les longueurs d'onde latérales les plus courtes. Les paramètres de rugosité en profilométrie commencent par la lettre majuscule R suivie d'une ou plusieurs lettres déterminant le type de paramètre. Par exemple, le paramètre 'Ra' est la rugosité moyenne arithmétique du profil. 'Rz' est la rugosité maximale du profil. La rugosité d'une pièce usinée est une signature du type d'usinage (tournage, polissage, pierrage, etc.) La cotation des états de surface en mécanique fait essentiellement référence à l'usinage par enlèvement de matière. Les défauts sont des stries et des sillons creusés par les arêtes coupantes des outils (outils de tournage, fraises, meules, etc...) (fig. 2).

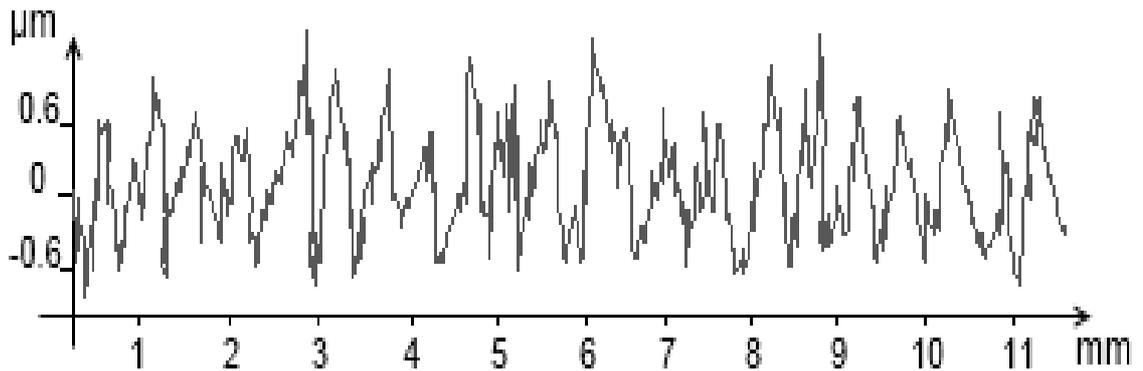


Figure 2 : Ecart de rugosité (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation) [24]

1.3.2. Ondulation (ordre 2)

Complémentaire à la rugosité, l'ondulation regroupe les composantes de l'état de surface à plus grande longueur d'onde. L'ondulation est obtenue par filtrage passe-bande et est parfois appelée ligne moyenne du profil. Les paramètres d'ondulation commencent par la lettre W. L'ondulation sur une pièce usinée est transférée par un défaut de la machine-outil (vibration, décentrage, etc.). Elle nuit en général aux fonctions de contact sec, de frottement ou d'étanchéité (fig. 3).

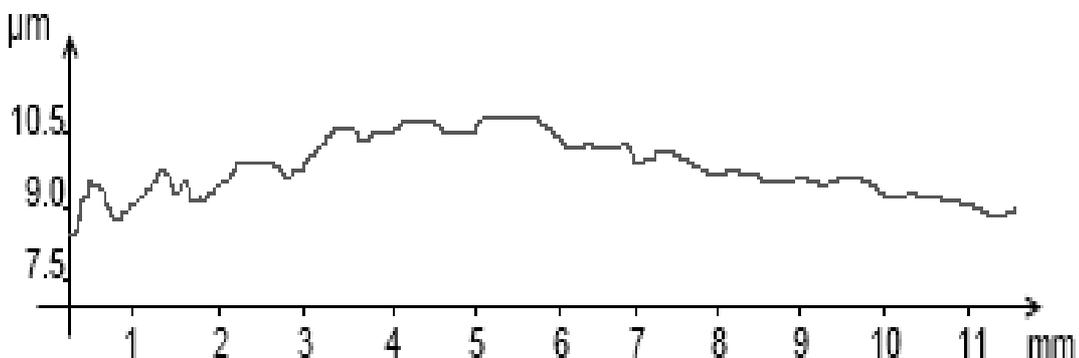


Figure 3 : Ecart d'ondulation (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation) [24].

1.3.3. Ecart de forme (ordre 1)

Les écarts de forme sont les résidus à grande longueur d'onde obtenus après suppression de la forme nominale de la pièce (par exemple un cylindre). Ils correspondent par exemple au défaut de planéité, au défaut de circularité, etc. En spécification géométrique, ces écarts de forme sont en général éliminés par filtrage (fig. 4).

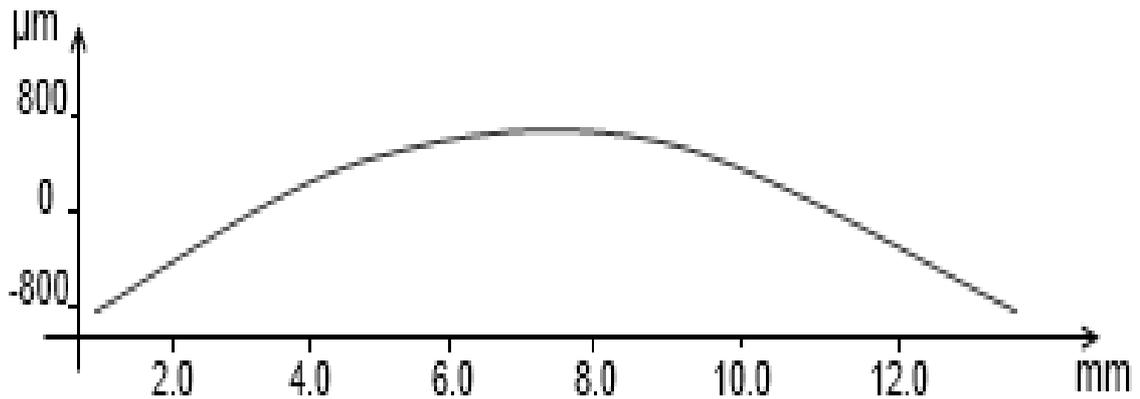


Figure 4 : Ecart de forme (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation) [24].

1.3.4. Microrugosité (ordre 4)

On parle parfois également de microrugosité : il s'agit des composantes de longueurs d'ondes les plus courtes provoquées le plus souvent par le bruit électronique ou vibration mécanique de l'appareil de mesure. Dans le cadre de notre étude, une table anti-vibration pneumatique disposée sous l'appareil de mesure élimine cet ordre de grandeur. Mais la microrugosité peut être également présente sur la pièce, et elle est dans ce cas la signature de l'aspect d'une pièce plus ou moins lisse.

La rugosité de surface et la brillance :

La rugosité de surface (R_a) est la mesure des irrégularités de surface de la pièce finie et polie. Elle se mesure en microns (μ). Une surface lisse ($R_a < 0.2\mu\text{m}$) est désirée pour réduire la rétention des bactéries et avoir une apparence brillante.

1.4. Paramètres d'états de surface et séparation des écarts géométriques

La séparation des écarts géométriques est nécessaire pour quantifier chaque écart, indépendamment des autres. Il existe deux méthodes normalisées de séparation des écarts géométriques [22, 24] :

- La méthode de la ligne moyenne (fig. 5) :

Elle consiste à opérer un filtrage du profil primaire avec un filtre passe bande. La différenciation d'un écart par rapport à l'autre s'effectue en considérant les distances entre deux sommets (longueur d'onde). La limite entre deux écarts géométriques s'exprime donc comme une longueur (longueur d'onde de coupure). Le filtre génère une ligne moyenne d'où le nom de méthode de la ligne moyenne.

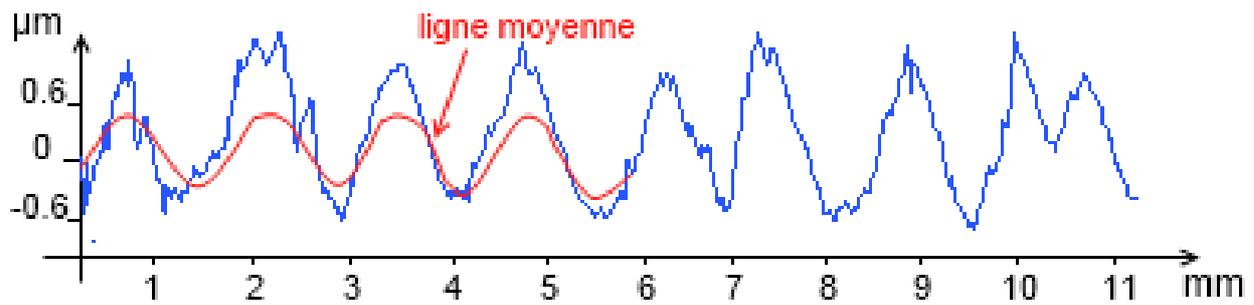


Figure 5 : Méthode de la ligne moyenne [24].

- la méthode des motifs :

Elle consiste à décomposer le profil primaire en motifs en appliquant un algorithme pour filtrer la forme. Cette méthode est employée dans le cadre de l'étude.

Note: concernant le profil de rugosité : il s'agit d'un profil dérivé du profil primaire par suppression des composantes de grande longueur d'onde, en appliquant un filtre. Ce profil est intentionnellement modifié et sert de base à l'évaluation des paramètres de rugosité.

1.5. Mesure de l'état de surface : microscope 3D

Un microscope 3D est un instrument utilisé pour mesurer le relief d'une surface, notamment dans le but d'en évaluer la topographie (rugosité, micro-géométrie).

Ces microscopes permettent d'atteindre une plus grande résolution d'image et une meilleure prise en compte des irrégularités de la surface. En effet, cette technologie associe l'interférométrie à la microscopie optique confocale classique. Ceci permet d'obtenir une précision nettement supérieure aux images obtenues uniquement par microscopie confocale classique.

1.5.1. La microscopie confocale

Un microscope confocal est un microscope optique qui a la propriété de réaliser des images de très faible profondeur de champ. La microscopie confocale a été développée à l'origine pour l'imagerie d'échantillons de cellules et de tissus biologiques. En microscopie confocale, l'échantillon est avancé verticalement, par pas, de telle sorte que chaque point de la surface passe à travers le focus. Une ouverture est placée en face du détecteur pour admettre la lumière provenant d'un seul point unique, le plan focal.

En microscopie confocale, un seul plan z est mesurée à la fois, afin d’obtenir une image 2D, une « coupe optique ». Puis le plateau contenant l’objet est déplacé dans l'axe Z, et l’acquisition recommence (fig. 6 Ainsi, des « tranches » qui peuvent par la suite être traitées informatiquement sont mémorisées, afin d’obtenir des images à trois dimensions de l'objet. L'objet n'est donc pas directement observé par l'utilisateur ; celui-ci voit une image recomposée par ordinateur [25].

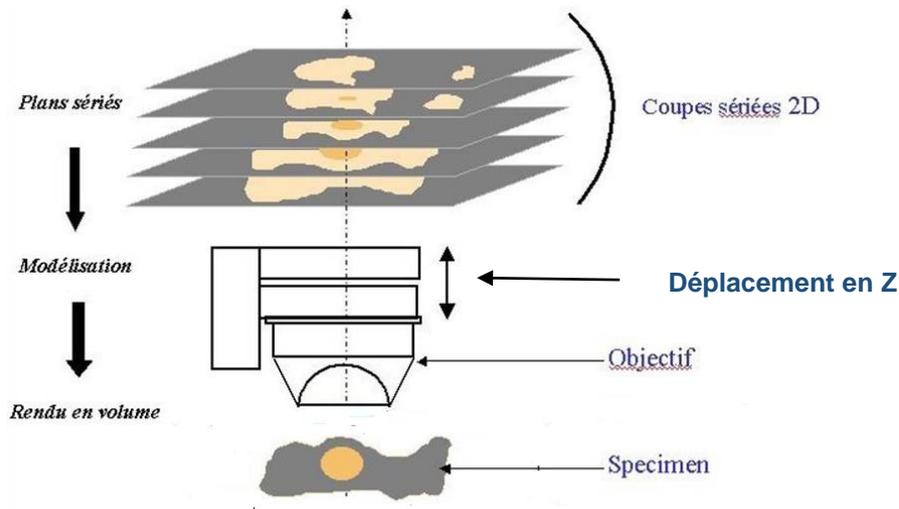


Figure 6 : Principe de fonctionnement du microscope optique confocal.

1.5.2. L’interférométrie

Autrement connu sous le nom de *White Light Interferometry*, WLI.

En microscopie 3D basé sur l’interférométrie, un balayage vertical le long de l'axe Z est fait de telle sorte que chaque point de la surface de test passe par le foyer et que les données X et Y soient capturées avec une seule acquisition à chaque étape de l'axe Z (fig.7) [25]. L’interférométrie est basée sur la séparation d’un faisceau lumineux en deux parties, l’une amenée sur la surface de l’échantillon et l’autre sur un miroir de référence ; la recombinaison des faisceaux réfléchis lorsque l’échantillon est à la distance focale, donne une figure de franges d’interférences. Entre chaque frange d’interférence de même couleur, il y a une longueur d’onde différente (fig. 8). Ceci apporte une très haute précision.

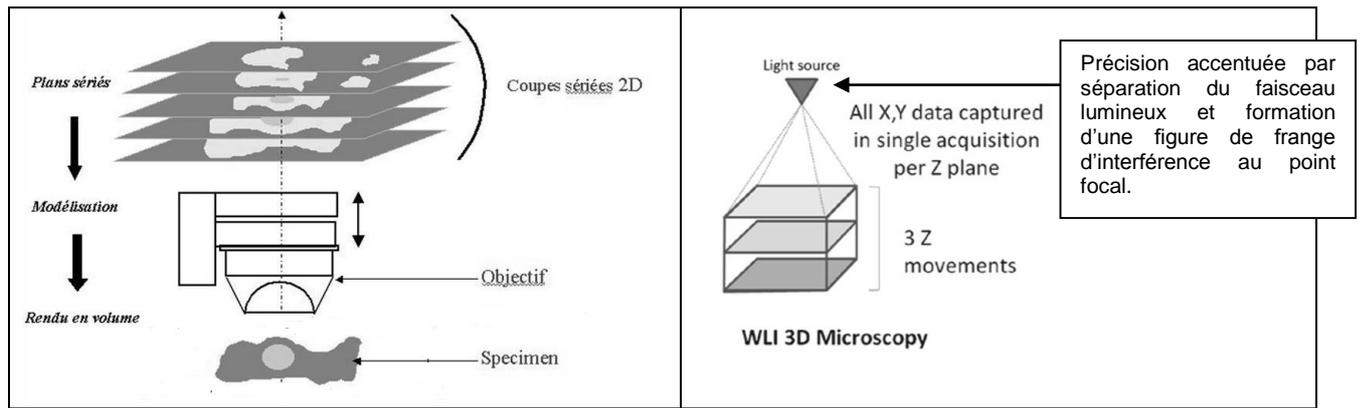


Figure 7: Schéma décrivant les méthodes d'analyse utilisées par microscopie confocale et microscopes 3D [25].

1.5.3. Fonctionnement et généralité concernant les microscopes 3D

Dans un microscope optique 3D basé sur l'interférométrie, la lumière approchant l'échantillon est divisée et dirigée en partie sur l'échantillon et en partie sur une surface de référence de haute qualité. La lumière réfléchiée par ces deux surfaces est ensuite recombinaée. Si l'échantillon est proche du point focus, la lumière interagit pour former un motif de lignes claires et sombres qui suivent la forme de la surface. Ceci est informatisé et visualisable sur l'écran d'ordinateur à l'aide d'un logiciel de traitement. L'objectif spécialisé du microscope balaye verticalement par rapport à la surface, de sorte que chaque point de la surface de test passe à travers le focus [25].

L'emplacement du contraste maximum dans les lignes claires et sombres indique la meilleure position de foyer pour chaque pixel, et une carte complète de la surface 3D de la surface à l'intérieur du champ de vision du microscope est générée.

Le logiciel est ensuite utilisé pour analyser ces données et pour calculer les différents paramètres d'intérêt, comme la texture de surface, la rugosité ou d'autres informations concernant les dimensions géométriques.

Les microscopes optiques 3D sont aujourd'hui capables de mesurer des pentes à 60 degrés facilement, et jusqu'à 87 degrés avec les derniers modèles.

Les microscopes 3D génèrent des données en 30 secondes ou moins sur des échantillons ayant même des pentes raides, sans avoir besoin de correction d'inclinaison. Néanmoins, il est vrai que pour obtenir les meilleures données, il est toutefois nécessaire de régler l'inclinaison de la tête optique par rapport à l'échantillon, ce qui prend plus de temps (fig.8).

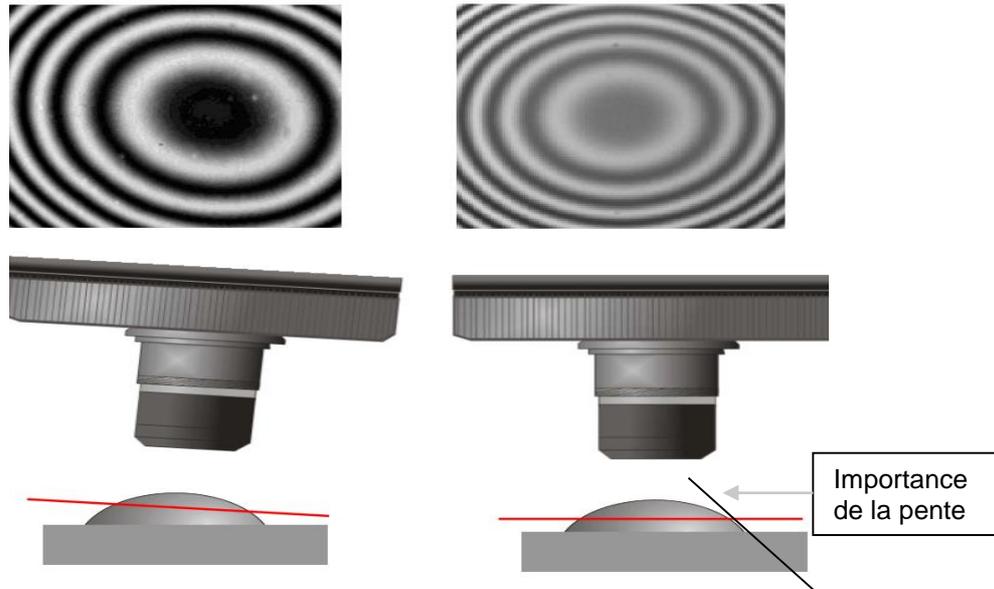


Figure 8 : Franges d'interférences et importance du réglage de l'inclinaison.

Applications des microscopes 3D pour :

- tous types de matériaux : polymères, échantillons biologiques, poudres, métaux, verres,
- des analyses morphologiques tridimensionnelles (étude d'usinage, étude de corrosion, structure de nano et microparticules, suivi de la morphologie au cours du temps...),
- des mesures des paramètres de rugosité.

1.6. Etat de surface de l'émail

Il dépend de la nature, de la topographie et de l'organisation du tissu.

1.6.1. Topographie

L'émail forme une couche d'inégale épaisseur recouvrant l'ensemble de la dentine coronaire au-dessus du collet anatomique de la dent. Il se termine en fin biseau au niveau gingival, alors qu'il présente une épaisseur maximale au niveau des cuspides.

1.6.2. Propriétés, organisation structurale et rugosité

C'est un tissu extrêmement dur mais cassant du fait de l'organisation structurale, permettant un clivage suivant l'axe longitudinal des prismes qui le constituent. L'émail s'use très

lentement, même par frottement avec lui-même.

Il est translucide normalement et laisse deviner la couleur de la dentine qu'il recouvre, ce qui donne à la dent une teinte jaune-blanchâtre. Il est radio opaque de densité plus importante que la dentine ce qui permet de bien les séparer dans les examens.

Il est constitué pour 97% de son poids de substances minérales, en majorité d'hydroxyapatite. Les prismes d'émail sont reliés entre eux par une matrice de collagène représentant 1% de la masse totale.

Suivant le degré de minéralisation, il existe différents types de tissu :

- le type fluorocalcique, peu minéralisé, de teinte bleutée,
- le type phosphocalcique, moyennement minéralisé,
- le type carbocalcique, très minéralisé, souvent plus jaune au niveau de la teinte.

Le tracé de la surface d'une dent montre au grossissement 10 000^e, l'existence de vallonnement macro géométriques et un état de surface micro géométrique dont les pics ne dépassent pas 0.25 microns en amplitude. L'échelle de grandeur qui détermine la micro géométrie correspond aux ondulations de surface de l'ordre de 1 micron.

La plupart des structures micro géométriques de la surface de l'émail ne sont pas visibles à l'œil nu. Elles conditionnent cependant l'aspect plus ou moins lisse et brillant de celle-ci. Il est possible de distinguer les extrémités des prismes, les espaces inter prismatiques, les périkyaties, les micropuits, les raies.

1.6.3. Modificateur de l'état de surface de l'émail au cours du temps

a) Facteurs physiologiques :

- Attrition : phénomène physiologique lent et graduel, et de l'émail, et de la dentine, résultant du contact des dents entre elles lors de la mastication et des mouvements du maxillaire. On parle d'attrition occlusale et d'attrition proximale [26].
- Abrasion : usure dentaire provoquée par les charges abrasives de l'alimentation, de corps étrangers, ou du contact dent-dent, touchant émail, dentine ou cément dépendant de l'agent étiologique. Les tissus présentent une surface lisse, luisante comme polie et dure (contrairement à la carie). Les causes sont l'alimentation, l'hygiène dentaire (temps, méthode et qualité), les parafunctions occlusales (attitude bruxique), les causes iatrogènes (crochets...) [26].

- b) Facteur traumatiques : fêlures et fractures.
- c) Facteurs chimiques : tétracyclines (à la mère gestante ou au nouveau-né), fluor (transformation des hydroxyapatites en fluoroapatites) et l'action des acides créant de l'érosion.
- d) Facteurs infectieux : carie décrite par Black.
- e) Facteurs physiques : radiothérapie pouvant aboutir à une décapitation coronaire.

1.7. Etat de surface des céramiques

1.7.1. Microstructure et macrostructure

La microstructure de la céramique est fondamentalement différente de celle de l'émail : elle doit être la plus compacte et homogène possible afin d'améliorer ces propriétés mécaniques. Elle dépend des aspects techniques des matériaux utilisés. Pour simuler une texture naturelle, il faut moduler par polissage, la brillance des différentes faces en fonction de la situation sur l'arcade et en fonction de l'âge.

La macrostructure : il s'agit de la forme générale de la dent obtenue par modelage et cuissons successives des différentes couches de céramique. Une fois la macrostructure obtenue, la forme est ajustée et il est possible de reproduire tous les caractères propres de chaque dent par des techniques de finitions mécaniques au laboratoire.

1.7.2. Modificateurs de l'état de surface des céramiques avec le temps

La céramique est un matériau plus ou moins poreux. Le taux de porosité est fonction du type de céramique, de la technique de montage utilisée et du choix de la finition. Une fois en bouche, sous l'action des agressions salivaires (lessivage), thermiques, bactériennes et des variations du pH, il se produit une hydrolyse de surface qui a pour conséquence d'augmenter les micro-défauts de surface et la porosité résiduelle. Une diminution de leur résistance à la flexion est alors observée. C'est pour cela que beaucoup de céramistes procèdent au stade de la finition à un glaçage de la surface afin de diminuer la porosité résiduelle [27].

D'autre part, il est très difficile de recuire une céramique, lors d'une réparation par exemple, après un séjour dans la bouche (difficulté de mise en œuvre et difficulté technique).

2. Paramètres de rugosité

Les normes utilisées sont ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997. Le logiciel Gwyddion utilisé dans l'étude prend en compte et respecte ces normes [28].

2.1. Paramètre de rugosité arithmétique R_a

Pour visualiser R_a , il faut répartir d'une manière uniforme les aires supérieures et inférieures autour de la ligne moyenne m (Eq. 1).

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |R_j|$$

Equation 1 : calcul de R_a .

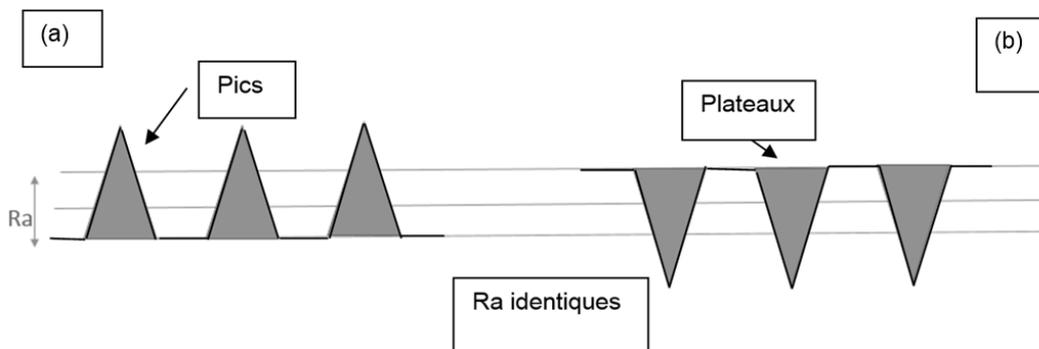


Figure 9 : Différents états de surface présentant un même R_a .

Les comportements à l'usure des deux profils hypothétiques illustrés sur la figure 9 sont très différents. Le profil (a) résiste très peu à l'usure, à cause de la présence de pics sur la surface, tandis que le profil (b) résistera mieux à l'usure grâce à la présence des plateaux. C'est pourquoi il peut être intéressant de prêter attention à d'autres paramètres caractérisant la rugosité.

2.2. Paramètre de rugosité quadratique

Il s'agit de la rugosité quadratique des écarts de hauteur, sur la longueur d'évaluation, et mesurés par rapport à la ligne moyenne (Eq. 2).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_j^2}$$

Equation 2 : calcul de R_q .

2.3. Paramètres d'asymétrie R_{sk} et de kurtosis R_{ku}

Le facteur d'asymétrie (*skewness*, R_{sk}) décrit de combien la distribution de la topographie de surface est asymétrique par rapport à une distribution dite normale (Eq.3). La surface est plus ou moins régulière (fig.10).

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{j=1}^N r_j^3$$

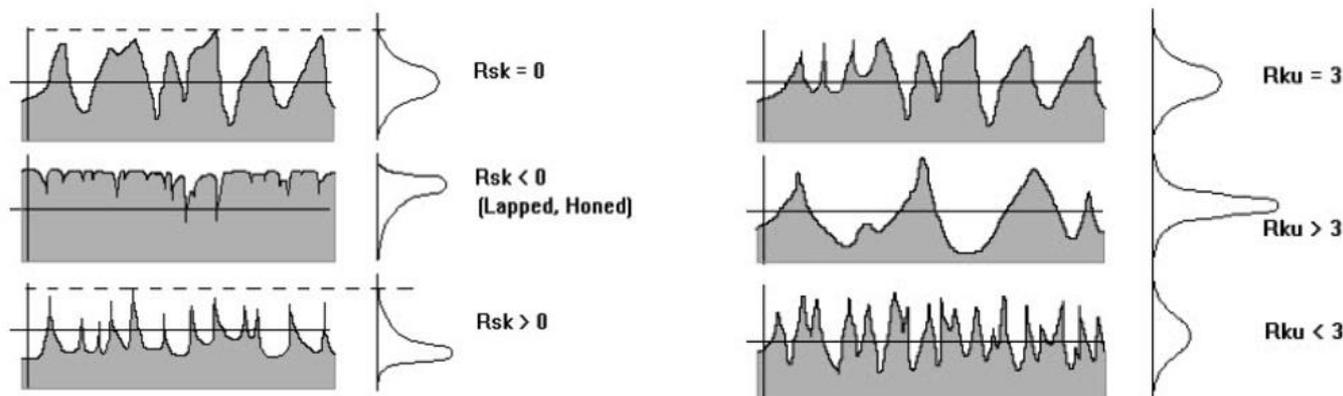
Equation 3 : calcul de R_{sk} .

Le kurtosis caractérisé par le R_{ku} correspond à l'aplatissement de la courbe de distribution d'amplitude (fig. 10). Il s'agit de la « dispersion » (Eq. 4).

$$R_{ku} = \frac{1}{NR_q^4} \sum_{j=1}^N r_j^4$$

Equation 4 : calcul de R_{ku} .

Ces deux paramètres sont fortement influencés par des saillies ou des creux isolés [29].



Significations	Significations
Cas 1 : Cas d'un profil normal (le nombre de points du profil est maximum autour de la ligne moyenne ; la courbe de distribution d'amplitude suit une loi normale) d'où $Rsk = 0$	Cas 1 : Cas d'un profil normal (le nombre de points du profil est maximum autour de la ligne moyenne ; la courbe de distribution d'amplitude suit une loi normale) d'où $Rku = 3$
Cas 2 : Cas d'un profil plein (les saillies les plus hautes sont écrêtées), qui résistera bien à l'usure D'où $Rsk < 0$	Cas 2 : Cas d'un profil large d'où $Rku > 3$
Cas 3 : Cas d'un profil creux (les saillies les plus hautes disparaîtront rapidement dès les premières heures de fonctionnement), qui résistera très peu à l'usure d'où $Rsk > 0$	Cas 3 : Cas d'un profil serré d'où $Rku < 3$

Figure 10 : Représentation de Rsk et Rku en fonction du profil de la surface et interprétation.

3. Moyen de polissage et de lustrage

L'étape de finition-polissage est une étape terminale et non-négligeable de la mise en place d'une restauration. De sa qualité dépendent l'intégrité esthétique, biologique, ainsi que la pérennité de la restauration.

La plupart des instruments de finition et de polissage fonctionnent par abrasion. L'abrasion est un usinage de la surface du matériau par frottement à l'aide de corps durs appelés abrasifs [21]. Des instruments d'une granulométrie décroissante sont utilisés pour aboutir à la fin à une surface très lisse et brillante.

Deux mécanismes de base existent :

- la plupart des moyens reposent sur l'utilisation d'un matériau d'abrasivité forte contre un matériau d'abrasivité moindre. Il s'agit du polissage à deux corps ou « *two body abrasive mode* » (fig. 11).

- en odontologie une autre méthode est aussi utilisée : le polissage à trois corps ou « *three body abrasive mode* » ; ceci consiste à placer des particules abrasives libres entre l'interface et l'instrument utilisé pour polir [30].

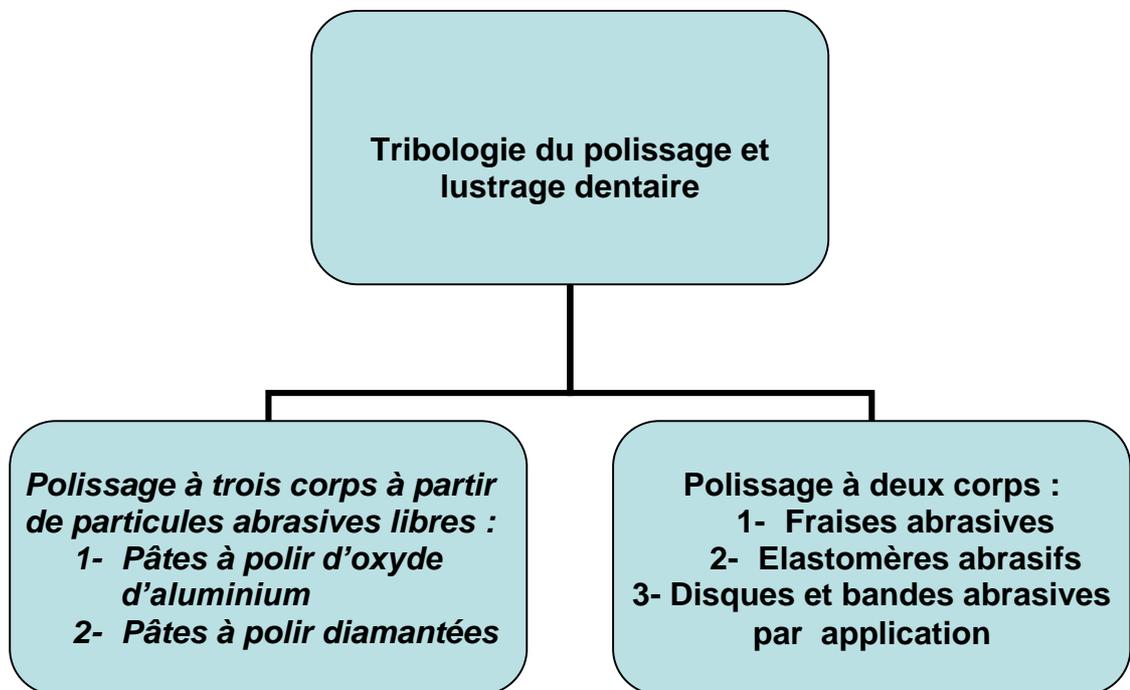


Fig. 11 : Procédures de finition et de polissage : Principe de polissage configuration à « deux corps » et à « trois corps » [20]. (Remarque : Le dictionnaire Larousse définit la tribologie comme Science et technologie des surfaces en contact animées d'un mouvement relatif.)

La méthode de polissage en plusieurs étapes, utilisant à la fois les méthodes de polissage à deux et trois corps, est souvent employée.

Notons que le mécanisme d'action d'un abrasif est principalement un mécanisme de coupure. Chaque particule agit comme une unité indépendante, une épée tranchante qui enlève du matériau de la surface en cours d'abrasion. Cette abrasion dépend des propriétés physiques et mécaniques de la surface à abraser.

3.1. Facteurs d'influence de la finition et du polissage

La vitesse d'abrasion d'un matériau donné dépend de trois facteurs primaires :

- la taille de la particule abrasive : des particules de plus grand diamètre provoquent de plus grandes rayures,

- la pression exercée contre le matériel à abraser : plus la pression est importante, plus l'abrasion est rapide et importante,
- la vitesse à laquelle la particule abrasive bouge au contact du matériel abrasé : augmenter la vitesse permet de diminuer la pression à exercer (mais le clinicien doit faire attention à garder l'instrument sous contrôle) [15].

Elle dépend également de :

- la dureté : il s'agit de la différence de dureté entre l'élément abrasif et l'élément abrasé,
- la forme : le bon sens permet de prédire qu'un objet rond est moins abrasif qu'un objet irrégulier. Plus il y'a d'arrêtes pointues et irrégulières plus l'élément est abrasif,
- la lubrification : lorsque la chaleur devient excessive, l'instrument perd en efficacité. Il est donc important d'avoir un système de refroidissement.

Notons que l'utilisation d'une pression trop élevée ou d'une vitesse trop rapide augmente le dégagement de chaleur et réchauffe le substrat [15].

3.2. Les différents abrasifs

De plus dur au moins dur (tab 4):

- les diamants : il s'agit de la substance la plus dure (fraises, pâtes à polir),
- les carbures : carbure de silicium, carbure de tungstène (fraises ou disques),
- l'émeri : principalement composé d'une forme naturelle d'oxyde d'aluminium, souvent appelé corindon,
- l'oxyde d'aluminium (disques et stripes),
- le silicate de zirconium,
- le seiche/quartz : composé de dioxyde de silicium,
- le grenat,
- la pierre ponce : pâte prophylactique utilisable pour les dents [15].

Abrasifs	Mohs	Brinell
Diamant	10	3 000
Carbure de silicium	9-10	3 000
Carbure de tungstène	9	1 200
Oxyde d'aluminium	9	1 700
Silicate de zirconium	7-7.5	
Seiche/quartz	7	650
Grenat	6.5-7	550
Pierre ponce	6	450

Tableau 4 : Tableau de la valeur moyenne des indices de dureté relevés dans la littérature d'après GRIMONSTER et Coll (1995).

L'échelle de *Brinell* mesure la dureté des matériaux, par la compression d'une bille, généralement en acier, sur le matériau que l'on désire tester.

L'échelle de Mohs permet de mesurer la dureté des minéraux. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles.

3.3. Matériels

Les instruments utilisés sont essentiellement basés sur un concept abrasif et se présentent sous plusieurs formes [30] :

- les instruments diamantés,
- les élastomères abrasifs : pointes montées et meulettes ainsi que polissoirs souples,
- les pâtes à polir.

Les facteurs influençant leur capacité d'abrasion sont [15, 31] :

- la taille des cristaux,
- la dureté des cristaux,
- leur concentration,
- la nature du liant (= l'agglomérant),
- le couple transmis par l'outil d'entraînement.

Le polissage mécanique et les agents abrasifs qu'il met en jeu successivement ont pour but, en produisant un flux plastique de la couche superficielle du biomatériau, de modifier la structure de sa surface et d'en améliorer l'état, tant sur le plan macro que microscopique, afin de lui conférer un « poli » maximum. Chimiquement, ce sont des substances naturelles ou

artificielles, carbonées, alumineuses ou silicieuses (abrasifs généralement durs), ainsi que des sels de métaux alcalin ou alcalino-terreux (abrasifs généralement tendres). Les abrasifs sont reliés entre eux par un liquide ou un solide. Selon la nature de ce liant deux grandes catégories abrasives se distinguent: les pâtes et les meules [11].

3.3.1. Les instruments diamantés/fraises

Ils présentent une dureté Vickers de 8000 HV et supportent une température de 900°C.

Ces instruments sont recouverts de cristaux de diamant naturel ou synthétique, d'une dureté équivalente dans les deux cas, mais de formes différentes. Ces cristaux sont maintenus dans un liant métallique, soit par un procédé électro galvanique, soit par frittage dans la masse. En raison de sa structure superficielle, de sa grande pureté et de sa forme octaédrique qui présente un grand nombre d'arrêtes, le diamant naturel possède des propriétés physiques et mécaniques supérieures à celles du diamant artificiel quant à l'usure et à la capacité de coupe. Leur excellente concentration de cristaux et leur structure irrégulière permettent des espaces inter cristallins suffisamment importants pour favoriser l'évacuation des copeaux pendant l'action de coupe.

Les instruments diamantés offrent une meilleure longévité grâce à leurs cristaux parfaitement sertis sur leur support. Leur utilisation donne de très bons résultats sur la céramique à condition d'exercer une très faible pression (inférieur à 200g), afin d'assurer une action sécante optimale et d'éviter que l'instrument ne s'encrasse.

Le calibrage des cristaux détermine plusieurs types d'instruments :

- à très gros cristaux : repère noir,
- à gros cristaux = 150 microns : repère vert,
- à cristaux moyens = 90 microns,
- à cristaux fins = 25 microns : repère rouge,
- à cristaux extras fin = 15 microns : repère jaune.

Ces instruments s'utilisent sur pièce à main, contre-angle ou turbine au choix de l'opérateur. Les vitesses recommandées varient en fonction du diamètre des instruments et en fonction du type de liant.

Au laboratoire de prothèse, se sont le plus souvent des fraises diamantées frittées dans la masse, qui sont employées car plus abrasives. Le travail s'effectue à des vitesses moins rapides, à l'aide de pièces à main.

Au cabinet, se sont plutôt des fraises diamantées à liant dur qui sont utilisées. Il faut noter que l'usure de ces dernières n'altère que leur couche abrasive superficielle, ainsi, leur profil initial reste pratiquement inchangé. D'autre part, l'utilisation d'un instrument usé peut favoriser un frottement de la céramique avec le liant et endommager ainsi, l'élément prothétique.

Les formes de fraises sont multiples et dépendent de l'utilisation choisie : les plus utilisées sont les fraises boules, cônes, flammes, poires, pointes.

Il existe également des disques diamantés souples très utiles pour finir les faces proximales. Le support doit être flexible pour utiliser au maximum les surfaces diamantées dans les travaux fins de meulage. Ils s'utilisent sur pièce à main et contre-angle.

3.3.2. Les élastomères abrasifs

Il s'agit de l'incorporation de différentes particules abrasives dans une matrice d'élastomère. Cette matrice de caoutchouc ou de silicone peut être naturelle ou synthétique.

Les particules abrasives utilisées peuvent être le carbure de silicium, l'oxyde d'aluminium, les particules diamantées, le dioxyde de silicium et l'oxyde de zirconium. La taille des particules s'échelonne entre 40 microns et 6 microns.

Il existe différentes formes : pointes, roues, tasses...

a) Les pointes montées et meulettes abrasives rigides

Les particules abrasives sont frittées ou liées avec une résine organique. Elles sont fines, moyennes ou grosses. La couleur de la pierre indique le type d'abrasif :

- les vertes sont composées de carbure de silicium de dureté Vickers égal à 3500HV et ont une limite thermique de 1300°C,
- les blanches, les roses et les brunes sont composées d'oxyde d'alumine appelé aussi corindon.

Les pointes montées à liant tendre présentent un rendement très satisfaisant et une capacité de coupe à usure rapide. Il est conseillé de maintenir une vitesse de rotation élevée. Les pointes montées à liant dur présentent un rendement beaucoup moins satisfaisant mais une capacité de coupe de faible usure et, dans ce cas, une vitesse de rotation faible est préférable. Ces instruments peuvent subir une déformation suite à une vitesse de rotation trop élevée, ce qui peut entraîner ébrèchement et fracture de l'élément prothétique.

Les formes existantes sont multiples : roue, flamme, cônes...

b) Les polissoirs souples

Ils ont généralement pour liant-support un caoutchouc siliconé pourvu de cristaux de carbure de silicium particulièrement fins pour réaliser le polissage.

Le support élastique s'adapte à la morphologie de la surface à polir et permet son polissage sans modifier son relief. Les vitesses de rotation optimales se situent entre 10 000 et 15 000 tr/mn avec une pression de coupe faible mais régulière. Une pression trop élevée entraîne une élévation de la température et une usure rapide. Avec un refroidissement par spray, une plus grande longévité du polissoir et une meilleure qualité de l'état de surface sont envisageables.

Les formes existantes sont multiples, essentiellement des formes de type roue, lentille, flamme, pointe fine.

3.3.3. Pâtes à polir et accessoires (méthode de polissage à « trois-corps »)

Utilisées en dernier lieu pour ajuster la brillance, elles sont constituées de particules abrasives dans une pâte matrice (oxyde d'aluminium, abrasifs diamantés de taille 10 à un micron). Il est possible d'utiliser différentes tailles de grains en fonction du brillant que l'on veut obtenir.

Elles sont utilisées sur contre-angle, à faible vitesse et sans spray.

Ces pâtes sont appliquées sur la surface à polir grâce à des disques en feutre, velours ou en poil.

4. Polissage au laboratoire

Au stade de la finition, il faut travailler les surfaces céramiques pour leur donner la structure et la brillance adéquate.

La finition se fait au laboratoire en deux temps :

- modelage des structures de surface,
- polissage.

Il s'agit de faire un ajustage des formes de contour, une caractérisation de surface et un réglage précis de l'occlusion. Le travail de la céramique se fait avec une technique et une instrumentation adaptée afin de ne pas la fragiliser : par la formation de fêlures, l'échauffement ou l'encrassage.

4.1.1. Technique de finition : finition par glaçage

Le glaçage consiste à vitrifier la surface de la céramique. Il s'agit d'adjoindre une poudre de glaçure mélangée à de la glycérine, portée à une température élevée par cuisson au four.

La technique a pour avantage [30] :

- un temps de réalisation rapide,
- une coloration de surface après biscuit / coloration sous-jacente avant biscuit,
- le comblement des porosités de la surface de la porcelaine cuite,
- une qualité de l'état de surface amélioré.

Grâce à la fermeture des porosités de surface, le glaçage assure une meilleure résistance mécanique et évite l'infiltration bactérienne au sein de la céramique. Cependant, l'aspect de surface est souvent plus brillant que les dents naturelles.

4.1.2. Technique de finition par polissage mécanique

Elle se fait à l'aide d'abrasifs (voir matériel) au stade du biscuit. Il s'agit d'utiliser des pointes montées et des meulettes de grains décroissants puis des polissoirs, pour terminer avec des feutres à polir qui permettent l'application d'une pâte diamantée. Ce polissage s'avère long et fastidieux et génère un problème de rentabilité. Il permet d'améliorer le résultat esthétique de la céramique mais nécessite une porcelaine bien condensée et cuite dans des conditions idéales. En effet les porosités de surface ne sont pas complètement éliminées par le polissage mécanique [10].

NB : il est parfois possible d'associer les deux techniques.

5. Polissage au cabinet dentaire – Corrections intra-orales

5.1. Justification des corrections intra-orales

5.1.1. Retouches lors de l'insertion

Malgré le perfectionnement de la technologie et des méthodes utilisées pour élaborer des constructions fixées, il est souvent nécessaire de retoucher les prothèses en bouche afin de :

- corriger les erreurs accumulées tout au long de la chaîne de travail, dont celles qui concernent les points de contact,
- parfaire l'ajustage occlusal en éliminant les suroccusions, les prématurités et les interférences,
- finir le joint périphérique,
- faire une finition marginale après collage, notamment dans le cas des inlay/onlay et facette.

Cet ajustage clinique des constructions céramiques se fait suivant un protocole rigoureux afin d'obtenir :

- un bon réglage des points de contact,
- une bonne relation occlusale,
- une bonne adaptation cervicale et marginale,
- de bons rapports muqueux.

Toute prothèse fixée doit être essayée en bouche, où seront successivement examinés:

- l'ajustage des contacts proximaux,
- l'ajustage cervical,
- les embrasures,
- les contacts travées-crêtes gingivales pour les bridges,
- la teinte et la brillance,
- la correction de forme ou de contour,
- l'occlusion.

Notons qu'en prothèse fixée, l'essayage du biscuit est fortement recommandé afin de faire les corrections avant renvoi au prothésiste pour polissage et glaçage. Malgré son utilisation, il est possible qu'il faille à nouveau ajuster l'élément prothétique en bouche. De plus dans la pratique courante, et pour éviter une étape clinique supplémentaire, de nombreux praticiens ne passent pas par cette étape.

Notons également que l'occlusion ne peut pas être observée et réglée au stade de l'essayage dans le cas des restaurations céramiques partielles collées telles que les inlays/onlays ou les facettes utilisant des vitrocéramiques. Ceci du fait de la rigueur du protocole de mise en bouche de l'élément, et des risques de fracture liés à un essayage du réglage occlusal avant collage.

5.1.2. Retouches lors de l'entretien

Les retouches intra-orales des céramiques seront également nécessaires en cas de fracture du matériau, ou d'usure liée au temps et aux agressions mécaniques et chimiques du milieu buccal, ainsi qu'aux éventuelles agressions iatrogènes. En effet, la maintenance des restaurations esthétiques peut s'avérer utile : la bonne maîtrise des techniques de polissage et de finition peut jouer un rôle important dans l'augmentation de la durée de vie des restaurations. En effet, une utilisation incorrecte des ultra-sons, ou de l'air-flow par exemple, peut abimer la surface de la restauration. Il est également recommandé d'éviter l'utilisation des pâtes abrasives prophylactiques [32].

5.1.3. Influence de la salive sur l'état de surface

La salive, sécrétion d'une grande complexité, est l'élément essentiel de l'environnement buccal. De nombreux éléments ont une influence sur ses propriétés : nature des aliments, liquides ou médicaments ingérés, variation de température intra orale, différence d'aération selon les zones considérées, variation de composition salivaire, présence de plus ou moins grande quantité de plaque dentaire acidogène ou de tartre.

Les études de Ricard [33] et de Robert [34] ont montré que la salive pouvait avoir un rôle important sur la dégradation de certaines céramiques. Cette dégradation se traduit par une altération de l'état de surface de ces dernières, entraînant un relargage ionique. En effet, les molécules d'eau diffusent à l'intérieur de la céramique et réagissent avec les atomes d'oxygène pour former des ions hydroxyles qui diffusent à l'extérieur du matériau avec des ions alcalins afin de maintenir la neutralité électrique : il y a dégradation.

Il est donc une fois de plus nécessaire d'avoir une méthodologie, afin d'entretenir et d'augmenter la durée de vie de ces restaurations.

5.2. Contrôle de l'occlusion

5.2.1. Statique

Dans la majorité des cas, les reconstructions sont intégrées à l'occlusion de convenance pour les restaurations unitaires. Elle se fera en occlusion d'inter cuspidation maximum. Les reconstitutions ORC (occlusion en relation centré) sont réservées aux restaurations de grande étendue.

Il faudra commencer par l'interrogatoire du patient : il révélera une éventuelle suroccclusion ou sous-occlusion. Il faudra ensuite faire l'inspection de la prothèse en place en OIM pour constater une modification évidente de l'occlusion. Ensuite, il convient de rechercher des contacts occlusaux par interposition d'un marqueur coloré à support mince. On recherche une bonne répartition des points sur les cuspidés supports. Repérés avant l'insertion, les rapports occlusaux ne doivent être modifiés ni en situation, ni en intensité, après l'insertion de l'élément prothétique.

5.2.2. Dynamique

Son observation permet de distinguer 3 types d'occlusion :

- l'occlusion balancée se traduit par une généralisation des contacts en protrusion et en latéralité,
- l'occlusion semi-balancée se traduit en protrusion par des contacts incisivo-canins provoquant une désocclusion bilatérale des secteurs postérieurs, et en latéralité par une fonction de groupe du côté travaillant.
- l'occlusion organique se traduit en protrusion par des contacts incisivo-canins sur le guide antérieur provoquant une désocclusion postérieure bilatérale, et en latéralité par une désocclusion importante du côté non travaillant, et un peu plus faible du côté travaillant provoqué par la canine travaillante.

C'est ce dernier concept qui est recherché en prothèse fixée. Lorsque l'évolution des arcades par usure dentaire, ou que le type morphologique ne se prête pas à une protection immédiate incisivo-canine, ou que la canine a une valeur parodontale faible, le concept de fonction de groupe travaillant est adoptée.

Il faudra néanmoins rechercher, identifier et harmoniser les interférences et prématurités occlusales. Les interférences seront supprimées dans les mouvements de propulsion et de latéralité au-delà de l'OIM. Ces contacts sont dictés par le schéma occlusal. En situation de protection canine, ces retouches sont toujours limitées. Il en est de même quand l'approche occlusale a été maîtrisée par l'utilisation d'un articulateur. On distingue ainsi les interférences travaillantes, non travaillantes et en propulsion.

5.3. Méthodologie et technique de retouche

Après avoir mis en évidence les défauts les plus souvent en excès, il faut les meuler minutieusement. Pour des raisons mécaniques, fonctionnelles et esthétiques, toutes les zones retouchées doivent être minutieusement polies. Ce polissage se fait grâce à des kits de finitions intra-oraux. Les matériaux de polissage utilisés en art dentaire sont variés, mais ils ne répondent à aucun critère de qualité précis. Au-delà de l'instrument utilisé, c'est la technique et le séquençage instrumental qui permet d'optimiser les résultats de polissage. Il s'agit notamment de l'utilisation d'instruments abrasifs de granulométrie décroissante.

On s'aperçoit que les résultats sont différents en fonction du type de céramique utilisé et de ses propriétés.

5.3.1. Matériel

- **Les fraises diamantées**

Les fraises les plus utilisées au cabinet sont à liant dur. Les formes usuelles au cabinet sont les fraises poire, conique et flamme. Concernant le choix du type de fraise, tous les auteurs s'accordent à dire que le résultat du polissage d'une zone retouchée par l'utilisation d'une fraise diamantée est meilleur lorsqu'on utilise une fraise de grain faible.

Ces fraises s'utilisent à vitesse modérée et sous spray d'eau afin de diminuer la rugosité de la surface retouchée.

- **Elastomères abrasifs**

- a) Les pointes diamantées

A base de carbure de silicium : les formes les plus utilisées sont les flammes, roues, coupes. La vitesse de rotation dépend du diamètre de l'instrument.

A base d'alumine : la pierre d'Arkansas est utilisée pour la finition de l'émail, de la céramique et des composites.

- b) Les pointes souples siliconées-caoutchouc

A base de diamant. De silicium ou d'alumine.

- **Les pâtes à polir et accessoires**

6. Incidence des états de surface et critère de polissage

6.1. Etat de surface et parodonte

La tolérance biologique d'une prothèse fixée dépend en partie de son intégration parodontale. L'état de surface joue un rôle non négligeable dans le maintien de la santé parodontale. En effet, les imperfections superficielles constituent des zones privilégiées de rétention de plaque bactérienne, et par conséquent, une surface lisse limite les possibilités d'encrage de la plaque dentaire et facilite l'entretien des surfaces traitées évitant les dépôts salivaires et alimentaires. Or, il est reconnu aujourd'hui que le facteur bactérien est la cause déterminante des maladies parodontales et des atteintes carieuses [35].

De plus, une surface rugueuse en contact avec le parodonte au niveau du joint cervical, des embrasures, des pontiques intermédiaires, peut entraîner une irritation mécanique provoquant une inflammation gingivale iatrogène. Mais le facteur le plus important reste l'accumulation de plaque à ce niveau, point de départ de la maladie parodontale.

L'interaction entre état de surface et parodonte s'effectue à plusieurs niveaux ; joint marginal, embrasures et pontiques. Chacune de ces zones doit être polie au maximum.

6.1.1. Influence de l'état de surface sur le film salivaire

La répartition de la salive sur les tissus dentaires (dent et gencive) va aussi directement dépendre de l'état de surface :

- sur une face présentant un aspect riche en variations de surfaces, et d'aspect relativement rugueux, la salive aura tendance à s'immiscer dans les différents creux. Elle va « accrocher » à la surface de la dent,
- sur une surface lisse, la salive s'étendra différemment. La salive aura tendance à perler, avec des bulles qui se logeront dans les espaces inter-dentaires.

6.1.2. Influence de l'état de surface sur l'adhésion bactérienne

Des surfaces très lisses résistent mieux. Le seuil de 0,2 µm (Ra) est généralement accepté comme le seuil en dessous duquel il n'y a pas d'influence de rugosité sur la formation de la plaque dentaire [36, 37].

La présence de plaque sur la surface de la restauration affecte non seulement son esthétique mais compromet également son intégrité. Une carie secondaire ou/et des maladies parodontales induites par des microorganismes présents en nombre important dans la plaque (*Streptococcus mutans*, *Lactobacillus spp.* et/ou *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivalis* respectivement) peuvent en résulter [38].

6.2. Etat de surface et résistance mécanique

Il a été démontré que l'état de surface de la céramique joue un rôle important dans la résistance mécanique [39] et dans la naissance des fissures [40]. En effet, une surface soigneusement polie résistera mieux à d'importantes charges occlusales qu'une surface présentant des irrégularités, des « griffures ».

Nous savons que la résistance d'une céramique dépend [41] :

- de sa structure intrinsèque : la résistance augmente avec le rapport phase cristalline-phase vitreuse,
- des taux de défauts internes : essentiellement conditionnés par la cuisson et la méthode de montage,
- de la géométrie de la pièce : le refroidissement entraîne des contraintes de compression au centre de l'échantillon et des tractions sur les bords, particulièrement exposés à la fissuration. Sur les échantillons de forme complexe, la fissuration intéresse en priorité les parties convexes,
- de son état de surface.

Selon la théorie de GRIFFITH, la fragilité du matériau est principalement liée aux craquelures, aux fissures, aux défauts de surface.

Cet auteur présente d'ailleurs une formule qui regroupe les différents paramètres de la formation des fissures.

Loi de Griffith : elle analyse les contraintes internes après refroidissement de la céramique

$$\sigma = \sigma_r = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

E = Module de Young, et

σ_r = Contrainte de rupture.

A = longueur de la fissure

Gamma = l'énergie nécessaire pour créer une surface unité de fissuration.

6.3. Etat de surface et occlusion

L'usure graduelle des dents antagonistes est un phénomène d'adaptation normal, mais il peut être perturbé par l'insertion de prothèses fixées dont le pouvoir abrasif diffère de celui de la substance dentaire qu'elle remplace [42].

La demande esthétique croissante contribue à accroître l'utilisation des céramiques, aussi bien au niveau des restaurations antérieures que postérieures.

Le pouvoir abrasif de la céramique est important et varie suivant le type de céramique utilisé, et suivant le type de finition de laboratoire choisi : glaçage ou polissage mécanique [13].

Il n'existe pas de relation directe entre le pouvoir abrasif de la céramique et sa dureté. C'est la microstructure de chaque céramique qui reste un élément important pour expliquer leur pouvoir abrasif [43].

Monasky et Taylor ainsi que de nombreux auteurs ont depuis longtemps démontré qu'il était impératif de polir toutes les zones retouchées en bouche sur la céramique, afin de préserver l'usure des antagonistes [43-45].

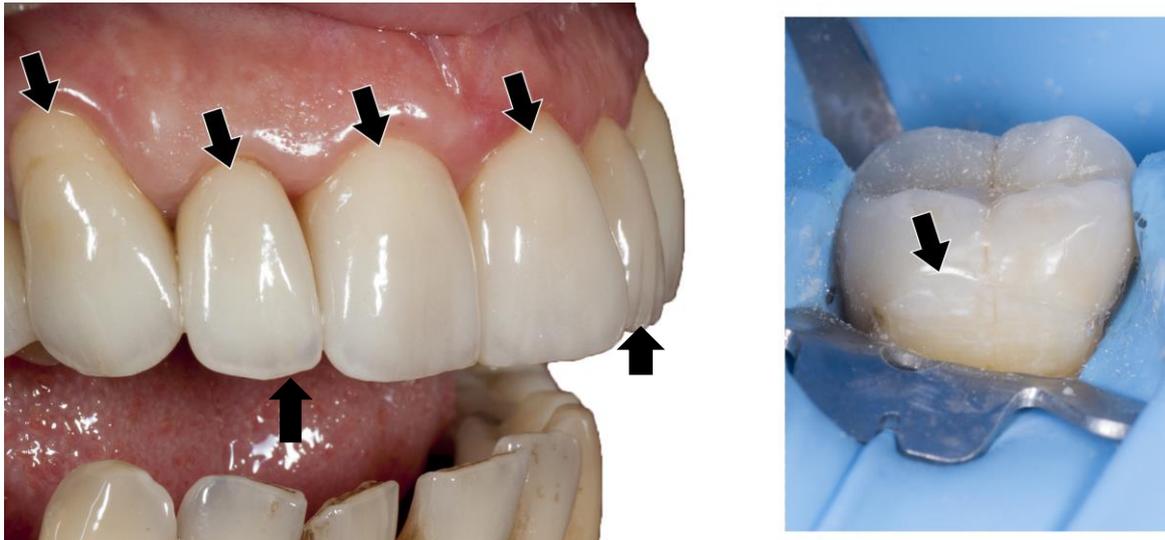


Figure 12 : Récapitulatif des zones qui doivent être polies au mieux compte tenu de leurs rapports au parodonte et à l'adhésion bactérienne ou aux sollicitations mécaniques de l'occlusion. (doc. O. ETIENNE)

Toutes ces zones devront être polies au maximum afin d'assurer la pérennité des reconstructions et leur intégration biologique (fig. 12) :

- polissage des zones occlusales pour diminuer au maximum les phénomènes abrasifs,
- polissage des zones parodontales pour le maintien de la santé parodontale et diminuer l'accroche de la plaque.

6.4. Etat de surface et esthétique

La réussite et l'intégration d'une céramique passent par un bon état de surface et une brillance adaptée. Il s'agit de donner vie à la dent. Pour une intégration esthétique réussie, il faut une recreation judicieuse du triptyque : forme, couleur et état de surface.

L'interaction de la lumière avec une matière se fait selon quatre modes : la réflexion, la transmission, la diffusion et l'absorption. Les caractéristiques optiques d'une restauration dentaire telles que la brillance, la translucidité et la teinte sont directement liées à la géométrie et à la quantité de lumière réfléchi au niveau de la surface et elles affectent son apparence esthétique [46].

Les propriétés optiques de la céramique varient si l'on agit sur le facteur absorption (indice de réfraction du matériel) et sur le facteur de réflexion (indice de réfraction du matériel utilisé et état de surface) [47]. C'est l'association de ces deux réflexions, sur les faces striées et lisses qui donne l'aspect naturel d'une céramique (fig.13).

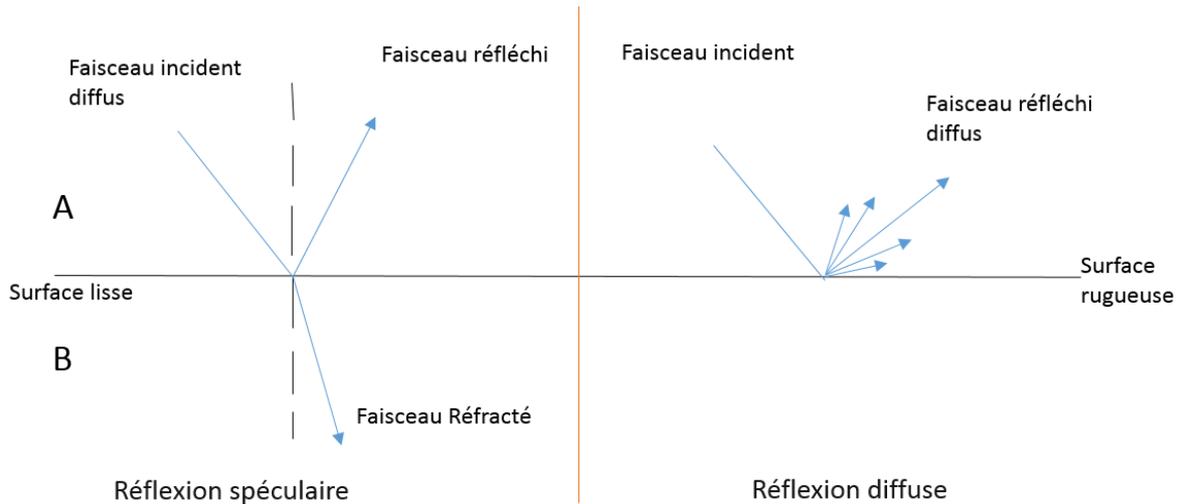


Figure 13 : Les différents types de réflexion.

Réflexion spéculaire : sur une surface lisse la réflexion de la lumière est plus grande, elle apparaît donc plus brillante.

Réflexion diffuse : sur une surface striée, le faisceau éclate, la réflexion est partielle, la surface apparaît plus mate.

- Brillance

Plus la surface est lisse, plus l'angle du faisceau lumineux réfléchi est proche de l'angle du faisceau lumineux incident (réflexion spéculaire), et plus la surface a un aspect brillant. Par contre, une surface irrégulière, présentant un nombre important de minuscules surfaces plates, induit une réflexion diffuse et par conséquent, une diminution de l'apparence brillante [48].

Le caractère brillant d'une surface dépend de sa faculté à réfléchir la lumière. En théorie, une influence linéaire a été trouvée entre rugosité de surface et brillance par Lu et Coll [49]. Une surface apparaît brillante si ses défauts ont une amplitude et un pas moyen inférieur ou égale à la longueur d'onde de la lumière visible, à savoir 0.56 microns [31].

Lorsque ces défauts augmentent, le phénomène de diffusion de la lumière devient prépondérant et la surface paraît mate. En dessous de 0.56 microns, le caractère brillant devient de plus en plus marqué. Les lobes de diffusion, caractéristiques d'un état de surface, sont d'autant plus étroits que le polissage d'une surface est poussé. Plus la quantité de lumière réfléchie est grande et celle diffusée petite, plus une surface brille.

De manière générale, plus les dents vieillissent, plus leur macro géographie s'estompe, les stries de croissances disparaissent et la brillance augmente.

A noter que sur la même arcade, une brillance maximale correspond aux zones les plus bombées, les plus exposées à l'usure naturelle et mécanique.

Au contraire, les zones de brillances minimales correspondent au fond des concavités plus striées et plus protégées.

- Translucidité

En plus des propriétés intrinsèques des céramiques dentaires qui conditionnent sa translucidité, la rugosité de surface est primordiale pour la manifestation de cette caractéristique optique. Plus la surface est rugueuse, plus la lumière est réfléchi au niveau de la surface de façon diffuse et moins elle pénètre le matériau, donc plus sa translucidité diminue [46].

6.5. Etat de surface, toxicité et allergie

L'état de surface intervient directement dans l'importance des réactions toxiques ou allergiques, ainsi que dans les irritations mécaniques. La revue de la littérature a permis de mettre en évidence que les céramiques à base de disilicate de lithium ne sont pas biologiquement inertes [50]. Elles provoqueraient une diminution de l'activité mitochondriale de 50 % à 70 %. Il existe donc un risque biologique initial qui cependant diminue rapidement avec le temps. Les auteurs formulent l'hypothèse que ce phénomène serait lié à la perte d'éléments présents dans le matériau. Il est également important de spécifier que si les prothèses à base de disilicate de lithium subissent un polissage soigneux, le risque d'apparition de réactions cellulaires s'avère négligeable. De leur côté, les autres types de céramiques n'ont pas une cytotoxicité qui varie en fonction de leur état de surface. Ainsi, après une utilisation en bouche de plusieurs années, même si la surface ne présente pas un poli irréprochable, il n'y a aucun risque vis-à-vis de la cytotoxicité [51].

6.6. Etat de surface et perception orale

Une restauration dentaire parfaitement intégrée doit répondre aux exigences esthétiques, fonctionnelles et biomécaniques. Elle doit également être acceptée par le patient du point de vue de son confort. La langue, surtout sa partie antérieure, est considérée comme l'organe le plus sensible de tout l'organisme. Elle est capable de ressentir une différence de rugosité de l'ordre de 0,3 μm (Ra) par la pointe de la langue [52]. Sachant, que la rugosité de l'émail dans des zones de contact occlusal est de 0,64 μm [53] et celle des dents antérieures est de 0,25 μm , la rugosité d'une restauration ne devrait pas excéder 0,50 μm [52].

6.7. Intérêts du polissage : synthèse

La restauration d'un état de surface adéquat et la nécessité d'un bon polissage après toute retouche, fut-elle mineure, est donc une nécessité à différents niveaux afin d' [30, 54] :

- améliorer la résistance mécanique afin d'éviter la casse,
- améliorer le rendu esthétique par la réflexion de lumière,
- améliorer la bio intégration : au niveau parodontale afin d'éviter au maximum la rétention de plaque et l'irritation mécanique du parodonte d'une part, mais également une bonne adaptation occlusale en vue de ne pas perturber l'équilibre occlusal et ne pas créer d'abrasion des tissus dentaires au contact de l'élément prothétique ; l'état de surface intervient également directement dans l'importance des réactions toxiques ou allergiques,
- diminuer l'usure des dents adjacentes et antagonistes par abrasion,
- améliorer la fonction de mastication : puisque la nourriture glisse plus facilement sur des surfaces polies,
- faciliter l'hygiène dentaire donc faciliter l'accès au brossage à toutes les zones.

III. Matériels et méthodes lors de l'étude in vitro

Dans cette étude, nous avons cherché à analyser les états de surface de différentes céramiques et l'impact de différents systèmes de retouches et polissage sur cet état de surface.

Pour ce faire nous avons dû :

- définir ce qu'est un état de surface,
- nous procurer différents plots de céramiques,
- nous procurer différents systèmes de retouches et polissage de la céramique,
- nous familiariser avec des logiciels informatiques,
- nous familiariser avec les techniques de microscopie optique interférométrique confocale,
- établir une méthode d'analyse.

1. Matériel

1.1. Différentes céramiques étudiées

Quarante plots de céramiques ont été étudiés, répartis en quatre groupes (n=10). Les plots de céramique étudiés ont été préparés par la société Ivoclar Vivadent France. Le cahier des charges préconisait, à notre demande, que ces plots soient préparés par un même prothésiste en respectant les recommandations du fabricant.

Trois types de céramiques différentes ont été observés dans notre étude. Chacun ayant des caractéristiques mécaniques et micro structurelles différentes. Deux états de surfaces ont été demandés : soit usiné (ou pressé) puis glacé, soit usiné (ou pressé) puis poli mécaniquement puis glacé. 4 groupes ont donc été étudiés :

- Zirconne glacée
- Emax Press LT glacée
- Emax Press LT polie et glacée
- Emax CAD glacée

Emax press LT: il s'agit de la céramique IPS Emax Press en version Low Translucency: une vitrocéramique au disilicate de lithium (LS₂) mise en forme par la technique de pressée.

Emax CAD : il s'agit de la céramique IPS Emax CAD : une vitrocéramique au disilicate de lithium (LS₂) notamment utilisée en CFAO.

La zircone : le dioxyde de zirconium (ZrO₂) a déjà démontré sa très haute résistance dans la fabrication d'armature de bridges longue portée. Le dioxyde de zirconium utilisé dans notre étude est de marque Wieland.

1.2. Systèmes de polissage étudiés

1.2.1. Set de polissage conventionnel pour céramique (*Optra Fine, Ivoclar vivadent*)

OptraFine est, selon le fabricant, un système d'instruments diamantés de haute performance pour le polissage des matériaux céramiques. OptraFine est orienté pour la finition des états de surface pour une esthétique et une brillance adéquate.

Le coffret comporte (fig. 14) :

- des instruments diamantés pour la finition (F) (bleu clair),
- des instruments diamantés pour le polissage (P) (bleu foncé),
- des brosettes en nylon pour le polissage au brillant (HP), à utiliser en combinaison avec la pâte de polissage,
- une pâte diamantée pour le polissage au brillant (HP), à utiliser en combinaison avec les brosettes en nylon.

OptraFine est disponible en trois formes : flamme (pointe), cône et disque.

Composition :

- Les instruments à finir et à polir contiennent du caoutchouc synthétique, de la poudre de diamant et du dioxyde de titane. Les tiges sont en acier inoxydable.
- Les poils des brosettes à polir sont en nylon. Les tiges sont en acier inoxydable.
- La pâte à polir diamantée contient de la poussière de diamant, dont la taille des particules est comprise entre 2 et 4 µm, dans une émulsion de glycérine, de sulfate de sodium laurique et de glycol de propylène (fig. 15).

Recommandations d'utilisation du fabricant:

- Il faut utiliser les polissoirs diamantés pour la finition et le polissage : vitesse de rotation : de 10 000 à max. 15 000 tours/minute avec un spray d'eau abondant (> 50

ml/min). Il s'agit de débiter avec les instruments Optrafine F puis OptraFine P.

- Enfin, il faut terminer par l'utilisation des brosettes de polissage en nylon OptraFine HP en combinaison avec la pâte à polir : vitesse de rotation : de 7 000 à max. 10 000 tours/minute sans spray d'eau. Avant de commencer à polir, appliquer la pâte dans les sillons créés par les poils des brosettes, puis l'étaler sur toute la surface de la restauration. Eliminer les résidus de polissage au spray d'eau.
- Le polissage doit être réalisé avec un léger mouvement rotatif afin d'éviter la formation de stries. Une pression moyenne de 2 N est suffisante. Une forte pression pendant le polissage n'apportera pas de meilleurs résultats, mais peut entraîner un échauffement et accélérer l'usure de l'instrument de polissage.



Figure 14 : Coffret de polissoirs OptraFine.



Figure 15 : Pâte à polir diamantée OptraFine.

1.2.2. Set de polissage pour céramiques denses (réf 4637, Komet France)

Nous avons retenu le coffret de polissoirs et de fraises pour céramique proposé par la société Komet. Il est orienté pour les retouches de la zircone (ZrO_2) ainsi que des nouvelles céramiques, notamment le disilicate de lithium.

Ce coffret comporte (fig. 16 et 17):

- des instruments diamantés qui ont, selon le fabricant, plusieurs avantages :
 - ✓ un ancrage particulier des diamants pour une longévité améliorée,
 - ✓ une efficacité adaptée à la céramique : les diamants calibrés sont idéalement répartis pour assurer une abrasion régulière et sans risque,
 - ✓ plusieurs formes et plusieurs granulométries,

- des polissoirs diamantés : en 2 étapes pour permettre le brillantage rapide. Ils peuvent être utilisés jusqu'à 10 fois selon le fabricant.

Forme des fraises diamantées : coniques et petites poires.

Forme des polissoirs : cône et pointe.

Recommandations d'utilisation du fabricant :

- Vitesse d'utilisation des fraises diamantées : entre 160 000 et 450 000 tours/minute avec utilisation impérative du spray d'eau, du grain fort au grain plus faible (bague bleu à rouge)
- Vitesse d'utilisation des polissoirs : entre 6 000 et 15 000 tours/minute avec spray d'eau, du polissoir bleu au blanc.

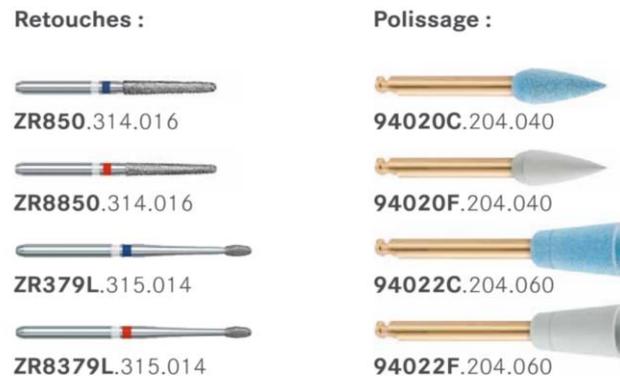


Figure 16 : Références des fraises contenues dans le coffret de fraise Komet.

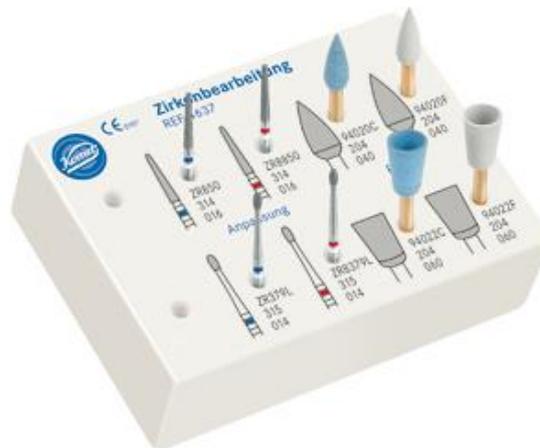
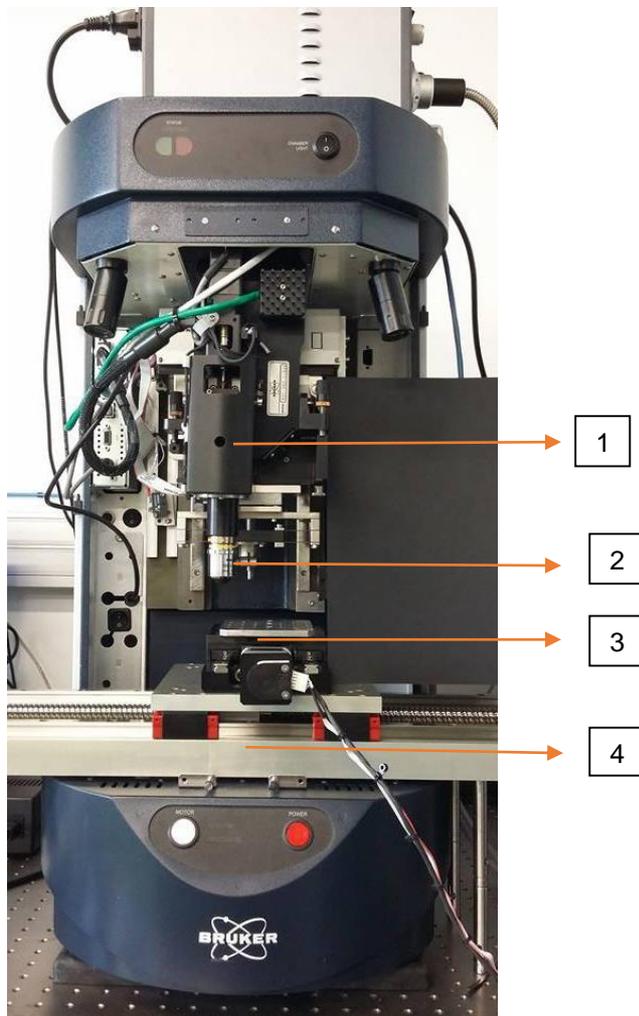


Figure 17 : coffret 4637 des polissoirs Komet pour céramiques dures

1.3. Observation des états de surface – mesure de microscopie

L'étude de l'état de surface des restaurations a nécessité l'utilisation d'un microscope Bruker 3D, basé sur la microscopie optique confocale et l'interférométrie. La microscopie optique 3D Bruker offre selon le constructeur une haute vitesse, une haute précision et un faible bruit [25]. Elle permet de capturer des ensembles complets de données avec des champs de vision qui dépendent de l'objectif choisi, autorisant des grossissements et des champs de visions variés.

Vision32™ le logiciel de Bruker traduit les données à haute résolution, en images significatives. Pour rappel, un microscope 3D est un instrument utilisé pour mesurer le relief d'une surface, notamment dans le but d'en évaluer la topographie (rugosité, micro-géométrie). Dans notre étude, l'analyse a permis d'étudier l'état de surface de nos échantillons. Le microscope 3D utilisé dans le cadre de l'étude est celui de la plateforme MINAMEC/CNRS 22/ICS (Centre National de Recherche Scientifique, Institut Charles Sadron) de Strasbourg : il s'agit d'un tribomètre UMT 1000, avec microscopie confocale interférométrique intégrée développée par la société BRUKER et située à l'ICS. Le dispositif expérimental est montré sur la figure 18.



Légende

1. Support du microscope
2. Microscope – source lumineuse - objectif
3. Porte-échantillon
4. Table de translation motorisé

1.3.1. Réglage du microscope :

Objectif X10.

FOV X2.

L'agrandissement est indiqué sur chaque image.

1.4. Traitement des données

1.4.1. Logiciels informatiques

L'étude a nécessité l'utilisation de divers outils informatiques et il a ainsi fallu se familiariser avec différents programmes informatiques :

- **Vision**

Le logiciel Vision® est le programme cœur de l'utilisation du microscope Bruker 3D, profilomètre optique sans contact. Vision fournit de puissantes mesures et permet d'effectuer de puissantes analyses, y compris les statistiques de hauteur de surface telles que Ra, Rsk...

Vision est un outil performant pour l'acquisition et l'analyse des données.

- **Excel**

Ce logiciel permet de présenter, remettre en forme et d'effectuer des analyses. Il permet d'organiser les données numériques et textuelles dans des feuilles de calcul ou des classeurs. Lors de la mise en œuvre des différentes configurations, Excel apprend à reconnaître le modèle et renseigne automatiquement les données encore à saisir. Aucune formule, ni macro n'est requise. Excel réalise ainsi des analyses complexes et propose ensuite la synthèse des données dans différents tableaux croisés dynamiques. Il est alors possible de comparer ces divers aperçus et sélectionner celui qui reflète le mieux une situation donnée.

- **IBM SPSS Statistics**

Jeux d'outils d'analyse prévisionnelle et statistique permettant de créer, entre autres, des boîtes à moustache ou bien de mettre en place des tests statistiques (Anova, Tukey...).

- **Gwyddion**

Gwyddion est un logiciel modulaire pour l'analyse de données SPM. Son but premier est d'être utilisé pour l'analyse de données obtenues par les techniques de microscopie, mais il peut être utilisé de manière plus générale pour tout autre champ de données ou pour l'analyse d'images. Gwyddion est un logiciel libre et gratuit.

L'ensemble des données est ensuite traité informatiquement grâce au logiciel Vision (Bruker) ou Gwyddion (open source). Ceci permet d'observer, à partir d'une image bidimensionnelle initiale (fig. 19), la surface filtrée en retirant la forme (Fig.20). Il est également possible d'observer une image 3D de la topographie de l'échantillon (fig. 21). Les logiciels cités permettent aussi le traitement des données pour calculer les paramètres de rugosité.



Figure 19 : Image bidimensionnelle initiale d'un échantillon. Figure 20 : 2d de la surface d'un échantillon.

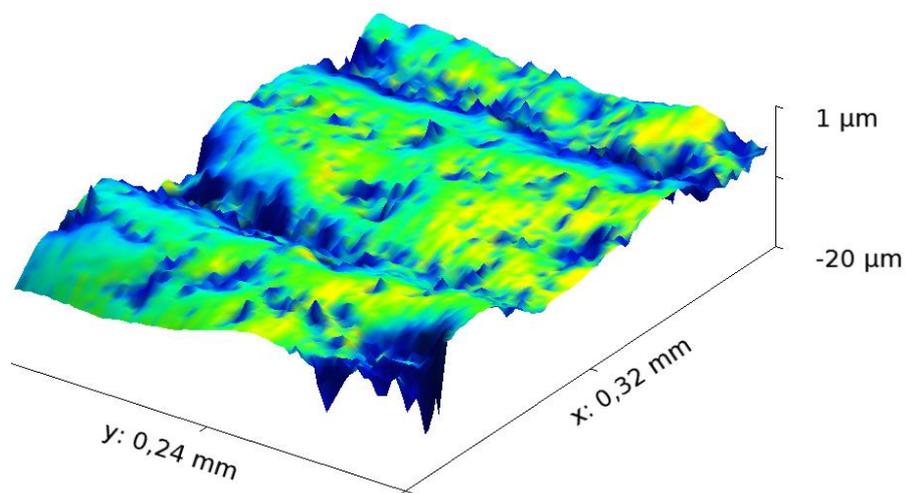


Figure 21 : 3d de la surface d'un échantillon.

2. Méthodologie de l'étude

2.1. Observations et mesures

Il a fallu classer les plots de céramiques par type et les numérotés (fig.22). Nous avons donc :

- 10 plots de zircone glacés, numérotés de 1 à 10,
- 10 plots de céramique Emax CAD Glacés, numérotés de 1 à 10,
- 10 plots de céramique Emax LT polis et glacés, numérotés de 1 à 10,
- 10 plots de céramique Emax LT glacés, numérotés de 1 à 10.

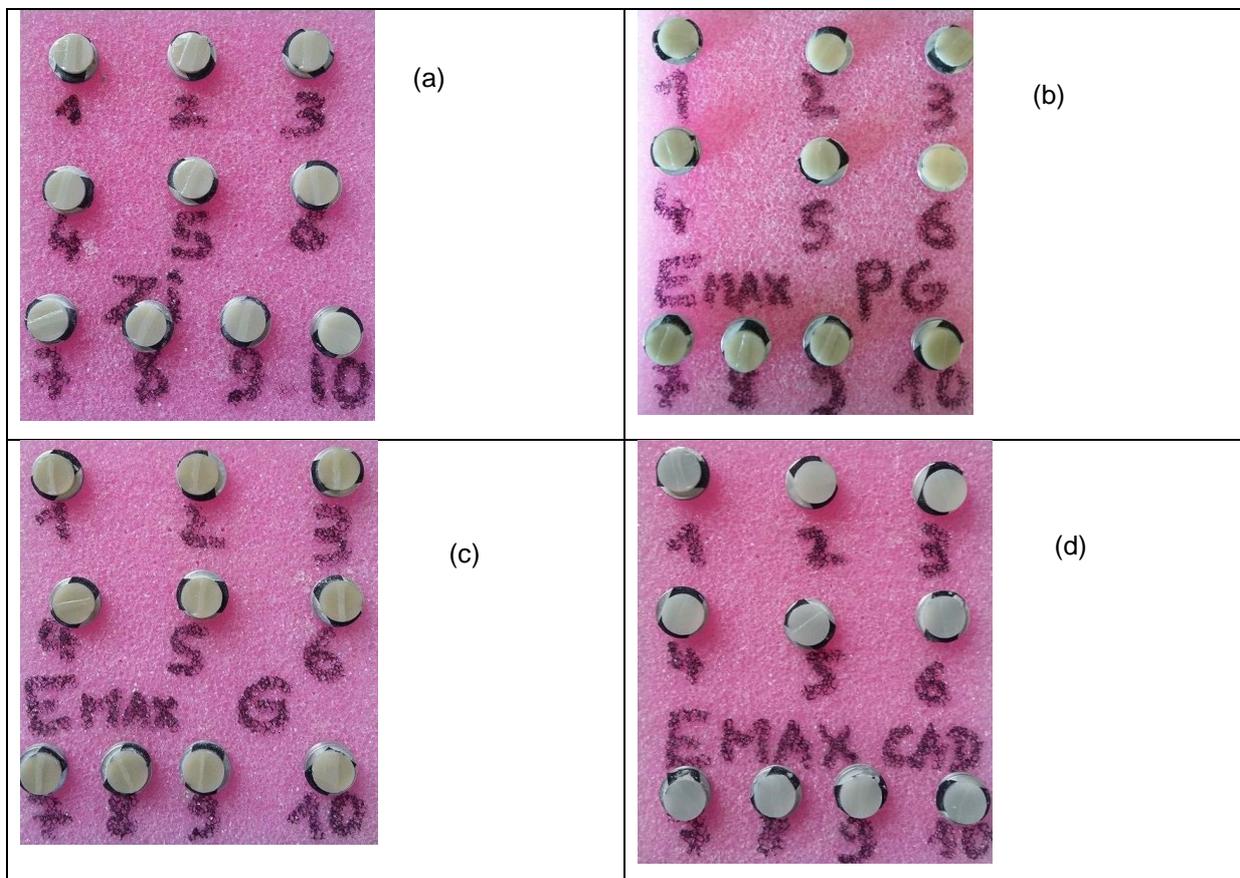


Figure 22 : Plots de céramiques rangés sur leur support. (a) Zircone. (b) Emax press LT Poli Glacé. (c) Emax press LT Glacé. (d) Emax CAD Glacé.

Un nettoyage soigneux de la surface a été effectué pour éviter toute accumulation de débris et de poussières. Pour chaque plot, 3 enregistrements consécutifs sur 3 zones aléatoires (fig.23) ont été effectués sur la surface à l'aide du microscope Bruker. Ceci nous permet d'avoir 30 enregistrements de la surface pour chaque type de céramique ce qui nous donne un échantillon de taille représentatif et nous permet d'identifier les éventuels enregistrements

aberrants. Chaque mesure correspond à un enregistrement effectué à l'aide du logiciel Vision (Bruker). Nous avons ensuite analysé ces mesures à l'aide des deux logiciels cités. Tous les échantillons ont été observés avant retouche et polissage, puis après.

Les plots et les données ont été dénommés en fonction du type de céramique, du type de finition laboratoire, du numéro de l'échantillon ($x=1\text{à}10$) et de la zone ($y=A, B$ ou C). Nous avons donc ZircGxy, EmaxCADGxy, EmaxLTxy PG et EmaxLTGxy.

Exemple concernant les données du 2e échantillon de céramique Emax CAD glacé dans la zone C : EMaxCADG2C.

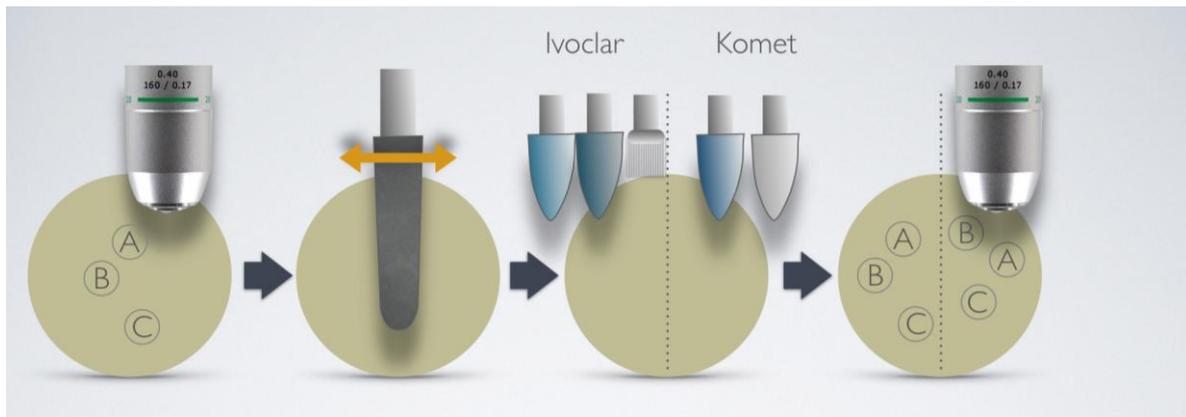


Figure 23 : Visualisation synthétique du protocole d'enregistrement des données sur des zones aléatoires sur un plot de céramique.

2.2. Retouches et polissage des céramiques

Chaque plot a été retouché sur l'ensemble de sa surface, par le même opérateur, à l'aide d'une fraise à congé de granulométrie rouge. Puis chaque plot a été divisé en 2 moitiés. L'une consacrée à l'utilisation du kit OptraFine d'Ivoclar Vivadent, l'autre consacrée au kit 4637 de Komet (fig. 23). Les polissages ont été réalisés manuellement par le même opérateur afin de respecter une pression la plus reproductible possible. Chaque fraise ou polissoir a été utilisé sur une durée équivalente et selon les recommandations du fabricant.

2.2.1. Kit OptraFine d'Ivoclar Vivadent.

Les retouches ont été manuelles sous une pression la plus constante possible et d'une durée équitable. La procédure de retouche et de polissage utilisée a été :

- tout d'abord retouche de la surface des plots céramiques à l'aide d'une fraise congé bague rouge classique sous spray d'eau abondant. La vitesse de rotation utilisée a été 200 000 tours/minute,

- puis polissage sous spray d'eau abondant avec l'aide du polissoir conique de plus forte granulométrie (bleu ciel) à une vitesse de 10 000 tours/minute,
- puis polissage sous spray d'eau abondant à l'aide du polissoir conique de plus faible granulométrie (bleu foncé) à une vitesse de 10 000 tours/minute,
- enfin, utilisation de la brosse en nylon associée à la pâte à polir du kit, à une vitesse de 10 000 tours/minute.

2.2.2. Kit 4637 pour céramiques denses KOMET

La procédure de retouche et de polissage utilisée a été :

- retouche de la surface des plots de céramique à l'aide de la fraise cylindro-conique bague bleu contenue dans le kit. La vitesse de rotation utilisée a été 200 000 tours/minute, sous spray d'eau,
- retouche de la surface des plots de céramique à l'aide de la fraise cylindro-conique bague rouge contenue dans le kit. La vitesse de rotation utilisée a été 200 000 tours/minute, sous spray d'eau,
- polissage à l'aide du polissoir à granulométrie plus forte (bleu) avec spray d'eau à une vitesse de 10 000 tours/minute,
- polissage à l'aide du polissoir à granulométrie plus faible (blanc) avec spray d'eau à une vitesse de 10 000 tours/minute.

2.3. Traitement des données

2.3.1. Gwyddion

Nous avons tout d'abord utilisé le logiciel Gwyddion pour le traitement des données obtenues à l'aide du microscope et du logiciel Vision.

Méthodologie dans l'étude (fig. 24) :

1. Fichier/ouvrir/fichier .opd acquis par Vision
2. Interpoler les données sur le masque à l'aide de l'équation de Laplace. Il s'agit de combler les zones non enregistrées de l'acquisition à partir des zones voisines.
3. Supprimer l'arrière-plan polynomial (fig.25)

Attention « utiliser l'image entière »

Degré de polynôme utilisé 3

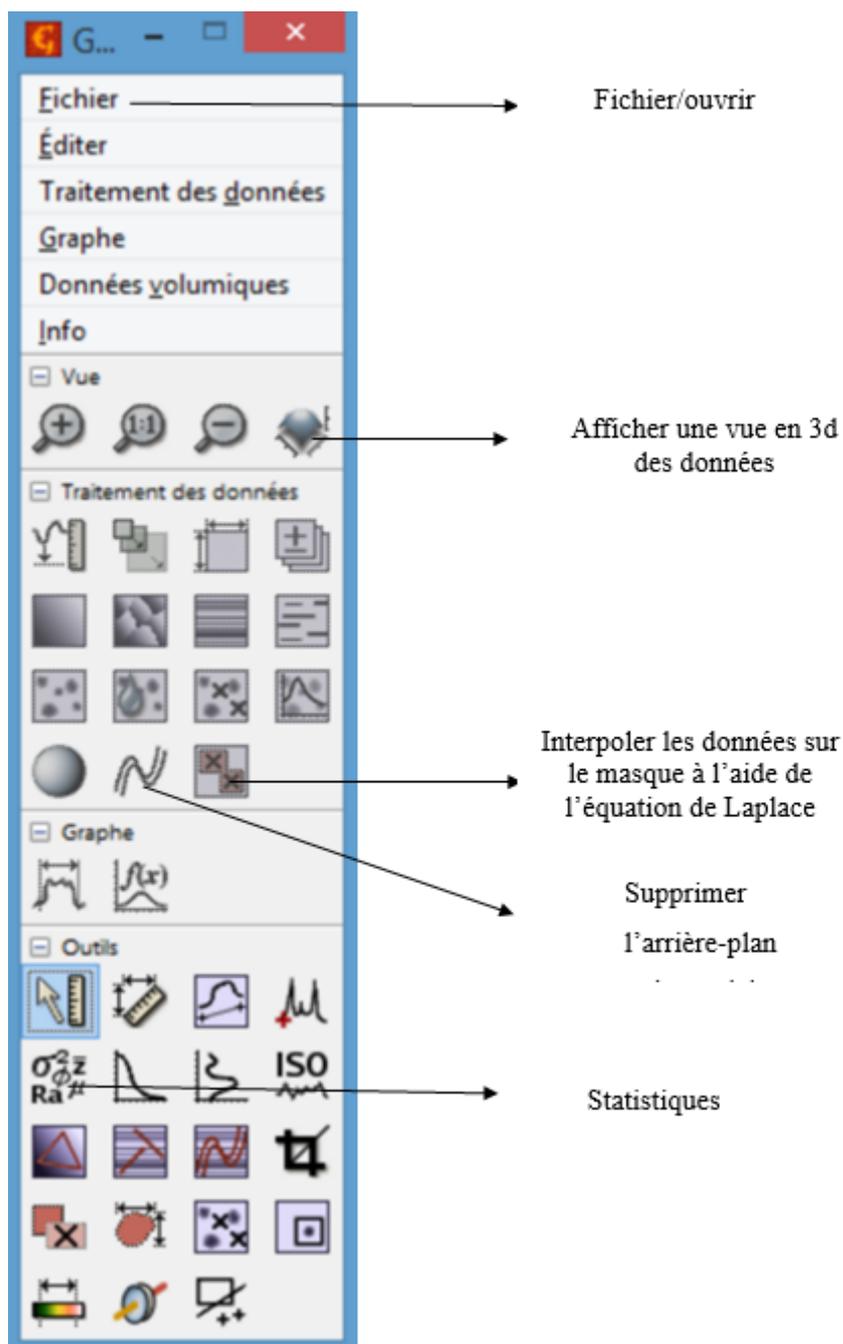


Figure 24 : Menu principal du logiciel Gwyddion.

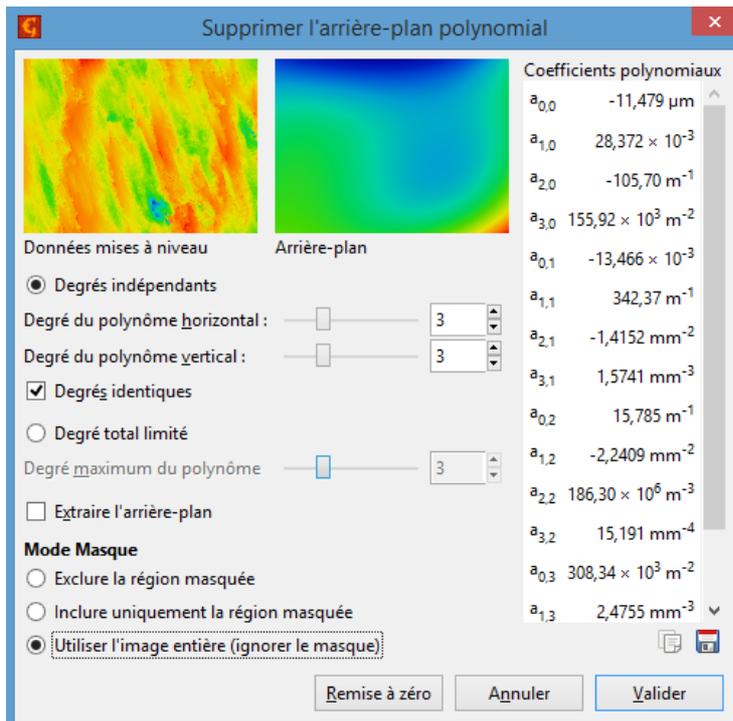


Figure 25 : Fenêtre Gwyddion « supprimer l'arrière-plan polynomial ».

L'application d'un polynôme de degré 3 consiste à interpoler à partir du profil primaire afin d'avoir accès à la forme de l'échantillon. L'objectif est de séparer les écarts géométriques afin de pouvoir étudier la rugosité indépendamment de la forme et de l'ondulation de l'état de surface. Il s'agit d'un filtre qui supprime au profil initial enregistré, la forme afin de ne conserver que le profil de rugosité et d'ondulation.

4. Statistiques

L'analyse de surfaces rugueuses nécessite généralement une approche statistique afin de déterminer les caractéristiques représentatives. Gwyddion propose donc d'effectuer cette analyse. Le logiciel calcule les paramètres du profil ainsi modifié (fig.26).

Ces paramètres ont été enregistrés pour chaque mesure afin de pouvoir les compiler et les analyser. Les enregistrements sont effectués au format .csv, consultable avec microsoft Excel.

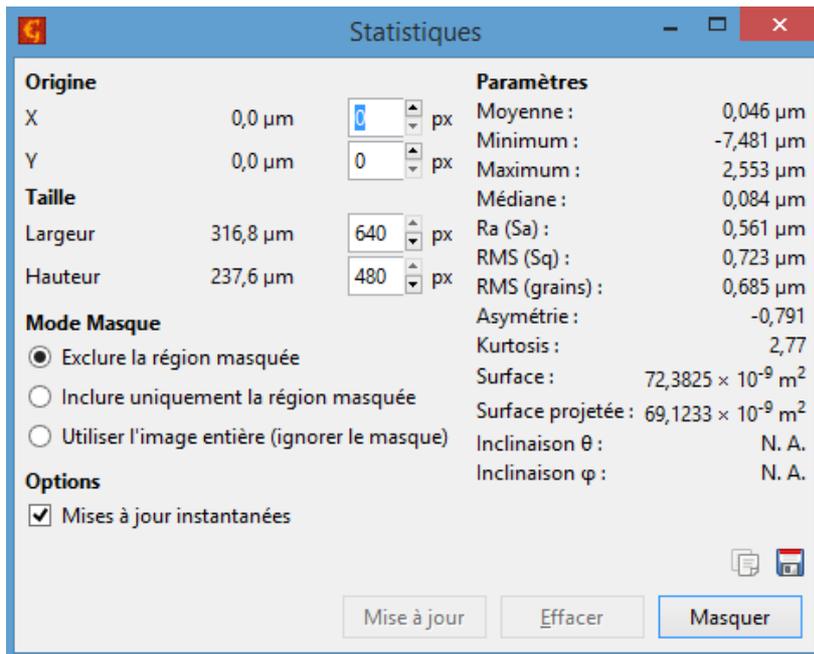


Figure 26 : Fenêtre Gwyddion « statistiques ».

- Afficher en vue 3D : cette fonctionnalité nous permet de visualiser l'échantillon ainsi traité sous forme 3D (fig. 27). Nous pourrions donc observer la topographie de l'état de surface de chaque mesure sur chacun des plots, c'est à dire l'image du profil de rugosité. Pour chaque mesure ainsi modifiée, nous avons effectué un enregistrement en format image (.jpeg).

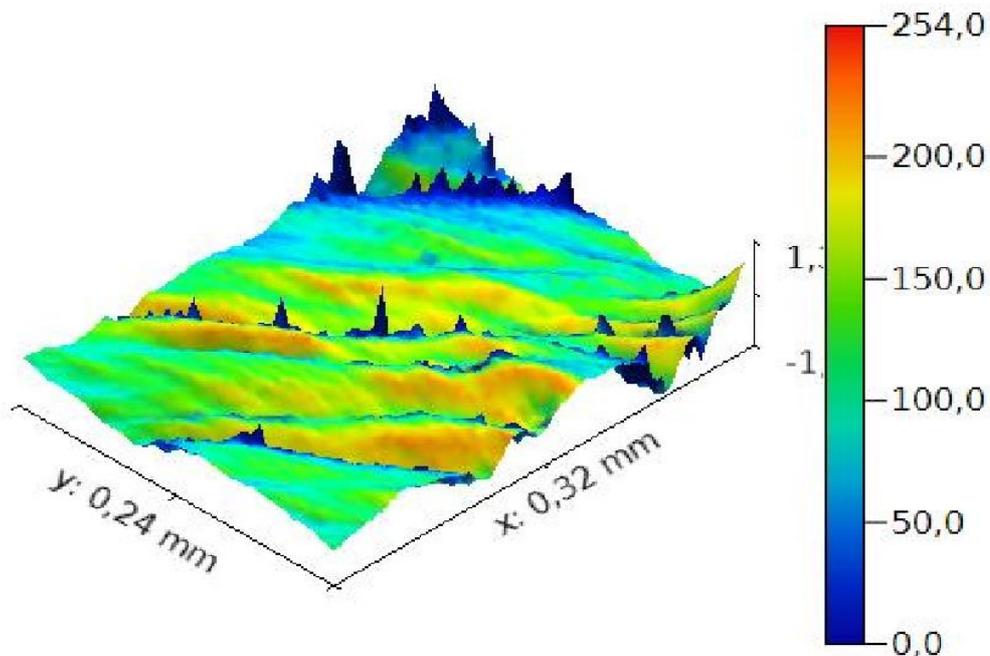


Figure 27 : Enregistrement 3D EmaxcadG2C, 2e plot 3e mesure de la céramique Emax CAD glacé après retouche à l'aide du kit Komet.

2.3.2. Excel

Les données traitées et imagées avec Gwyddion ont été ensuite reportées vers le logiciel Microsoft Excel.

Pour chaque mesure nous avons conservé et classé 4 paramètres caractérisant la rugosité.

Après compilation des résultats, les tableaux récapitulatifs nous permettant d'analyser les résultats (Tab. 5).

Zircone (wieland) glaçée	
Echantillons	1
1ère Mesure Ra1	13,84
2e Mesure Ra2	11,43
3e Mesure Ra3	11,62
Ra moyen/echantillon	12,30
1ère Mesure Rq1	17,47
2e Mesure Rq2	14,72
3e Mesure Rq3	19,17
Rq moyen/echantillon	17,12
1ère Mesure Assymétrie	-0,30
2e Mesure Assymétrie	0,26
3e Mesure Assymétrie	3,90
1ère Mesure Kurtosis	0,31
2e Mesure Kurtosis	3,32
3e Mesure Kurtosis	38,90

Tableau 5 : Enregistrement des 4 paramètres de rugosité avant retouche pour la zircone, échantillon numéro 1.

IV. Résultats

L'étude des données observées nécessite de faire appel aux statistiques, aussi bien les statistiques descriptives que les statistiques analytiques.

1. Statistiques descriptives

L'étude statistique de notre étude se traduit par des graphiques simples qui nous permettent d'analyser les données récoltées [58, 59].

1.1. Visualisation graphique

1.1.1. Boîtes à moustaches

Les boîtes à moustache (*box plot*) sont un moyen très utile de représenter la distribution des données. Ce diagramme est utilisé principalement pour comparer un même caractère dans deux populations, mais également d'avoir une idée sur la distribution et la variabilité des résultats.

Une boîte à moustache fait apparaître le minimum, le maximum ainsi que le premier et dernier quartile et la médiane (3e quartile)

En statistique descriptive, un *quartile* est chacune des 3 valeurs qui divisent les données triées en 4 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/4 de l'échantillon de valeur.

- le 1er quartile sépare les 25 % inférieurs des données,
- le 2e quartile est la médiane (50%) de la série,
- le 3e quartile (75%) sépare les 25 % supérieurs des données.

La boîte s'étend du premier au dernier quartile et une ligne est tracée au travers de la boîte au niveau de la médiane.

2. Statistiques analytiques

2.1. Indicateurs statistiques

Les représentations graphiques présentées dans la section précédente ne permettent qu'une analyse visuelle de la répartition des données. Pour des variables quantitatives, il est intéressant de donner des indicateurs numériques permettant de caractériser au mieux ces données. Deux indicateurs sont généralement donnés : un indicateur de localisation et un indicateur de dispersion. L'indicateur de dispersion exprime les caractéristiques d'un échantillon.

L'indicateur de localisation a pour but est de donner un ordre de grandeur général des observations, un nombre unique qui résume au mieux les données. On pense immédiatement à la moyenne des observations.

Il est nécessaire de compléter les indicateurs de localisation par des indicateurs de dispersion, qui mesureront la variabilité des données.

2.2. Intervalle de confiance

L'intervalle de confiance (IC) à 95% est un intervalle de valeurs qui a 95% de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé.

L'intervalle de confiance est constitué des valeurs qui ne sont pas statistiquement significativement différentes du résultat observé. Les bornes supérieures et inférieures sont donc les valeurs les plus éloignées du résultat qui ne lui sont pas statistiquement différentes. Par contre les valeurs situées à l'extérieur de l'intervalle sont statistiquement différentes du résultat observé. Ainsi, la borne supérieure est la plus grande valeur non significativement différente de la valeur observée.

2.3. Tests statistiques ou d'hypothèse

En statistiques, un test d'hypothèse est une démarche consistant à rejeter ou à ne pas rejeter une hypothèse statistique, appelée hypothèse nulle, en fonction d'un jeu de données (échantillon). Il s'agit de statistique inférentielle : à partir de calculs réalisés sur des

données observées, nous émettons des conclusions sur la population, en leur rattachant des risques de se tromper. Il s'agit donc d'une analyse plus objective des données que l'analyse graphique.

Les tests d'hypothèses ont pour buts de :

- fournir un formalisme précis pour toutes les situations,
- clarifier et définir le cadre rigoureux de ces études,
- savoir si les différences mises en jeu sont considérables ("significatives" pour un seuil donné).

Le test d'homogénéité (ou de comparaison) consiste à vérifier que K ($K \geq 2$) échantillons (groupes) proviennent de la même population ou, cela revient à la même chose, que la distribution de la variable d'intérêt est la même dans les K échantillons.

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ ou bien $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$

2.3.1. Analyse de la Variance : Test Anova

De l'anglais *Analyse Of Variance*.

Il s'agit de tests de comparaison de K échantillons indépendants (différenciation selon les caractéristiques de tendance centrale, modèle de localisation). Le but est d'étudier l'effet des variables qualitatives sur une variable quantitative.

Facteur (variable qualitative) : prend un nombre fini de valeurs, une valeur = une classe. Ex : facteur kit de polissage ou type de céramique.

Niveau (ou population) : les différentes valeurs prises par un facteur. Ex : l'étude de la rugosité d'un type de céramique.

Il s'agit donc du test de l'effet d'un facteur sur une population étudiée, c'est à dire tester si les moyennes des populations sont égales.

Ex : effet d'un type de céramique ou d'un kit de polissage sur une population. La variable étudiée : Y, à valeurs numériques est la rugosité.

Hypothèse : les k échantillons sont indépendants et de loi Normale.

Le test Anova à un facteur indique s'il y a au moins une différence entre les groupes. Il ne donne cependant aucune information concernant cette différence, c'est-à-dire quel groupe est différent de quel autre groupe. Pour cela, il faut se référer à un test statistique à comparaison multiple. Le test HSD de Tukey correspond à un test statistique à comparaison multiple. La comparaison est faite entre différents effets deux à deux. Cela équivaut à faire un test Anova sur un ensemble deux par deux sur l'intégralité des groupes.

3. Résultats de l'étude et analyse statistique.

Les valeurs moyennes de Ra, pour les 4 céramiques étudiées, ont pu être analysées avant polissage puis après retouche et polissage à l'aide des différents kits, grâce à l'utilisation de statistiques descriptives et analytiques. L'interprétation des résultats est basée sur l'analyse de 360 mesures.

Note : lors des tests statistiques Anova à 1 facteur et Test HSD de Tukey, la valeur-p (p-value en anglais), c'est-à-dire la signification a été fixée à 0.05.

Si $p < 0.05$: il y a donc très une forte présomption contre l'hypothèse nulle. $H_1 \Rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$

Si $p > 0.05$: il n'y a pas de présomption contre l'hypothèse nulle. $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ (les 2 groupes ne sont pas significativement différents.)

Un tableau comparatif des valeurs moyennes de Ra pour chaque céramique (tab.6) a été réalisé à partir des données compilées sur Excel.

Valeur de Ra moyen (nm)/Type de céramique	Zircone Wieland Glacé	Emax Press LT glacé	Emax Press LT poli et glacé	Emax Cad glacé
<i>Avant retouche</i>	18.09	201.17	64.14	112.31
<i>Après retouche polissage kit Komet</i>	311.50	170.17	214.35	169.24
<i>Après retouche polissage kit OptraFine</i>	429.47	550.69	308.11	388.42

Tableau 6 : Comparaison pour chaque céramique de la valeur du Ra avant retouche et après retouche polissage avec les 2 Kits étudiés.

3.1. Comparaison pour chaque céramique avant retouche et après retouche puis polissage avec les différents kits.

L'analyse statistique descriptive des données est présentée sous forme de boîtes à moustaches (fig.28-34). Les méthodes de statistique analytique ont été employées pour valider ou infirmer les hypothèses tirées de l'analyse descriptive des données. Ces résultats des tests statistiques sont compilés sous forme de tableaux (tab. 7-27).

L'hypothèse à tester est la suivante : la rugosité est la même avant et après retouche.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

3.1.1. Analyse statistique des échantillons de zircone.

Descriptives

Quelle est la rugosité?

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
Z non retouchée	30	18,0933	11,47529	2,09509	13,8084	22,3782	7,33	54,27
Z retouchée komet	30	311,4973	194,03160	35,42516	239,0447	383,9499	32,87	740,70
Z retouchée ivoclar	27	429,4704	141,50832	27,23329	373,4915	485,4492	164,50	778,70
Total	87	246,9359	221,30638	23,72653	199,7691	294,1026	7,33	778,70

Tableau 7 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour la zircone non polie, puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

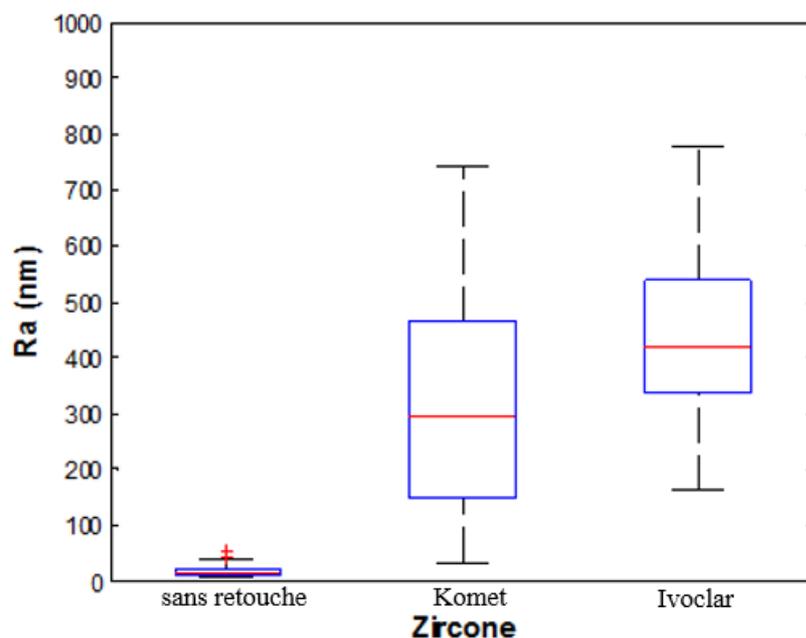


Figure 28 : Boîte à moustache représentant le Ra moyen de la zircone avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité?

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	2595721,915	2	1297860,958	67,452	,000
Intra-groupes	1616258,142	84	19241,168		
Total	4211980,057	86			

Tableau 8 : Test statistique Anova (zircone)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: quelle est la rugosité?						
Test de Tukey						
(I) de quelle céramique s'agit-il?	(J) de quelle céramique s'agit-il?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Z non retouchée	Z retouchée komet	-293,40403*	35,81542	,000	-378,8581	-207,9499
	Z retouchée ivoclar	-411,37707*	36,79685	,000	-499,1728	-323,5813
Z retouchée komet	Z non retouchée	293,40403*	35,81542	,000	207,9499	378,8581
	Z retouchée ivoclar	-117,97304*	36,79685	,005	-205,7688	-30,1773
Z retouchée ivoclar	Z non retouchée	411,37707*	36,79685	,000	323,5813	499,1728
	Z retouchée komet	117,97304*	36,79685	,005	30,1773	205,7688

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 9 : Test de Tukey, comparaisons multiples (zircone).

Le test Anova (tab.8) aboutit à la conclusion qu'au moins un des 3 groupes de zircone diffère significativement des autres. Ainsi les 3 groupes n'appartiennent pas à la même population pour la variable observée (rugosité), l'hypothèse nulle est rejetée avec $p\text{-value} < 10^{-3}$. Ce test ne permet cependant pas de savoir quel groupe est différent de quel autre groupe. Pour cela il faut se référer à une comparaison deux par deux effectuée par un test anova multi-factoriel (test de Tukey).

Le test de Tukey (tab. 9) met en évidence que les échantillons comparés deux à deux sont significativement différents ($p\text{-value} < 0.05$).

En conclusion, les 2 kits de polissage diffèrent l'un de l'autre et ni l'un ni l'autre ne permet de retrouver une rugosité identique à l'échantillon de départ. La zircone glacée possède une surface plus lisse avant retouche qu'après. D'après cette analyse, le kit Komet est plus performant.

3.1.2. Analyse des échantillons de céramique Emax Press LT Glacée.

Descriptives

Quelle est la rugosité?

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
EmPLTG non retouchée	30	201,1720	97,62694	17,82416	164,7175	237,6265	58,37	498,70
EmPLTG retouchée komet	30	170,1733	94,43063	17,24060	134,9124	205,4343	52,84	492,50
EmPLTG retouchée ivoclar	27	550,6889	181,56782	34,94274	478,8631	622,5147	156,70	931,80
Total	87	298,9536	212,61142	22,79434	253,6399	344,2672	52,84	931,80

Tableau 10 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax Press LT Glacé non polie, puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

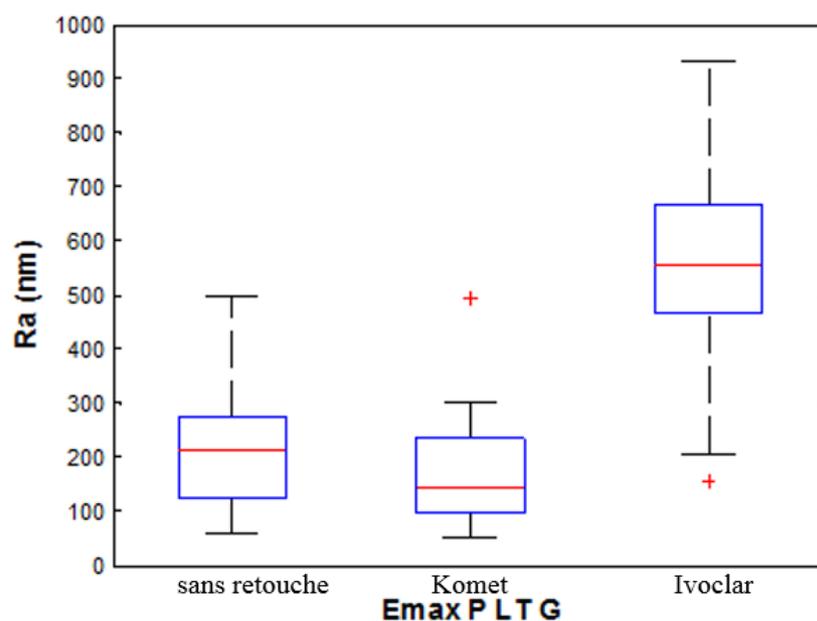


Figure 29 : Boîte à moustache représentant le Ra moyen de l'Emax press LT glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité?

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	2495375,655	2	1247687,827	75,284	,000
Intra-groupes	1392135,417	84	16573,041		
Total	3887511,071	86			

Tableau 11 : Test statistique Anova (Emax PLTG)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: quelle est la rugosité?						
Test de Tukey						
(I) de quelle céramique s'agit-il?	(J) de quelle céramique s'agit-il?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
EmPLTG non retouchée	EmPLTG retouchée komet	30,99867	33,23958	,621	-48,3096	110,3069
	EmPLTG retouchée ivoclar	-349,51689*	34,15042	,000	-430,9983	-268,0354
EmPLTG retouchée komet	EmPLTG non retouchée	-30,99867	33,23958	,621	-110,3069	48,3096
	EmPLTG retouchée ivoclar	-380,51556*	34,15042	,000	-461,9970	-299,0341
EmPLTG retouchée ivoclar	EmPLTG non retouchée	349,51689*	34,15042	,000	268,0354	430,9983
	EmPLTG retouchée komet	380,51556*	34,15042	,000	299,0341	461,9970

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 12 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax PLTG).

Le test Anova (tab. 11) aboutit également à la conclusion qu'au moins un des 3 groupes d'Emax press LT Glacé diffère significativement des autres. Ainsi, les 3 groupes n'appartiennent pas à une même population pour la variable observée (rugosité), l'hypothèse nulle est donc rejetée avec $p\text{-value} < 10^{-3}$.

Le test de Tukey (tab. 12) met en évidence que les échantillons Emax press LT glacés non retouchés et Emax press LT glacés retouchés et polis avec Komet ne sont pas significativement différents ($p\text{-value} > 0.05$; $\text{sig} = 0.621$). Au contraire, la comparaison des échantillons non retouchés de cette même céramique avec les échantillons retouchés avec le kit d'Ivoclar Vivadent montre une différence significative ($p\text{-value} < 0.05$).

En conclusion, le kit Komet permet de retrouver pour l'Emax press LT Glacé, après retouche et polissage un état de surface proche de celui de départ, tandis que le kit Ivoclar Vivadent est moins efficace et ne permet pas de retrouver cet état de surface.

On note également que le kit Komet permet même d'obtenir un meilleur état de surface après retouche et polissage que l'état de surface initial de l'Emax press LT Glacé.

3.1.3. Analyse des échantillons de céramique Emax Press LT Polie et Glacée.

Descriptives

Quelle est la rugosité?

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
EmPLTPG non retouchée	29	65,3259	38,13283	7,08109	50,8209	79,8308	15,25	176,80
EmPLTPG retouchée komet	30	170,1733	94,43063	17,24060	134,9124	205,4343	52,84	492,50
EmPLTPG retouchée ivoclar	27	342,7307	174,25235	33,53488	273,7988	411,6627	106,70	731,00
Total	86	188,9928	160,18610	17,27331	154,6488	223,3368	15,25	731,00

Tableau 13 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax Press LT Polie et Glacée non polie/retouchée, puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

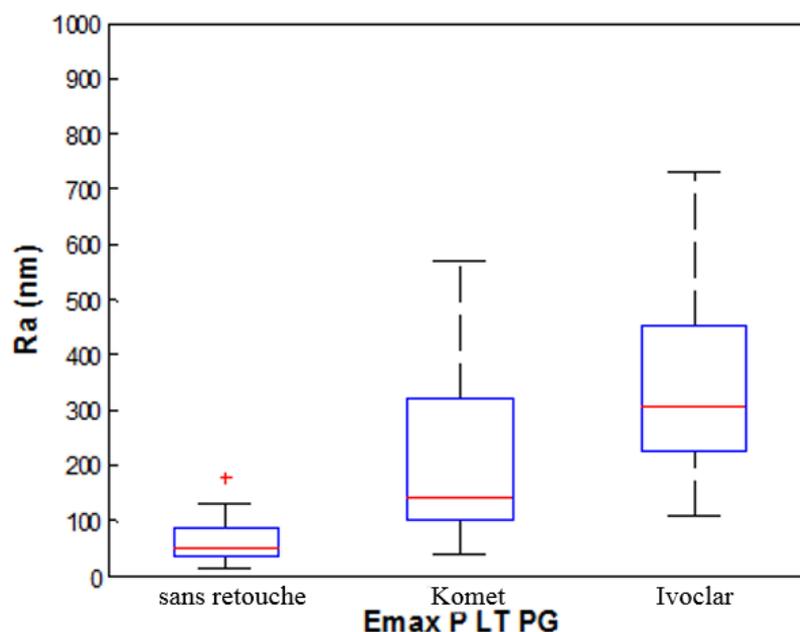


Figure 30 : Boîte à moustache représentant le Ra moyen de la Emax press Lt poli et glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité?

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	1092291,574	2	546145,787	41,634	,000
Intra-groupes	1088773,228	83	13117,750		
Total	2181064,802	85			

Tableau 14 : Test statistique Anova (Emax PLTPG)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: quelle est la rugosité?						
Test de Tukey						
(I) de quelle céramique s'agit-il?	(J) de quelle céramique s'agit-il?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
EmPLTPG non retouchée	EmPLTPG retouchée komet	-104,84747*	29,82607	,002	-176,0266	-33,6683
	EmPLTPG retouchée ivoclar	-277,40488*	30,62970	,000	-350,5019	-204,3079
EmPLTPG retouchée komet	EmPLTPG non retouchée	104,84747*	29,82607	,002	33,6683	176,0266
	EmPLTPG retouchée ivoclar	-172,55741*	30,38258	,000	-245,0647	-100,0502
EmPLTPG retouchée ivoclar	EmPLTPG non retouchée	277,40488*	30,62970	,000	204,3079	350,5019
	EmPLTPG retouchée komet	172,55741*	30,38258	,000	100,0502	245,0647

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 15 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax PLTPG).

Le test Anova (tab. 14) aboutit une nouvelle fois à la conclusion qu'au moins un des 3 groupes d'Emax press LT Poli et Glacé diffère significativement des autres. Ainsi, les 3 groupes n'appartiennent pas à une même population pour la variable observée (rugosité), l'hypothèse nulle est donc rejetée avec $p\text{-value} < 10^{-3}$.

Le test de Tukey (tab. 15) met en évidence que tous les échantillons comparés deux à deux sont significativement différents ($p\text{-value} < 0.05$).

En conclusion, les 2 kits de polissage diffèrent l'un de l'autre, et ni l'un ni l'autre ne permet de retrouver une rugosité identique à l'échantillon de départ.

L'Emax press LT Poli et Glacé est plus lisse, avant retouche et polissage qu'après, quel que soit le kit de polissage utilisé dans l'étude. Le kit Komet est toutefois plus performant.

3.1.4. Analyse des échantillons de céramique Emax CAD Glacée.

Descriptives

Quelle est la rugosité?

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
EmCADG non retouchée	30	112,3070	59,39311	10,84365	90,1292	134,4848	33,25	269,10
EmCADG retouchée komet	30	169,2413	81,22699	14,82995	138,9107	199,5720	46,79	332,90
EmCADG retouchée ivoclar	27	388,4174	209,18762	40,25818	305,6655	471,1693	25,80	741,10
Total	87	217,6290	174,60782	18,71992	180,4150	254,8429	25,80	741,10

Tableau 16 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax CAD Glacée non polie/retouchée, puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

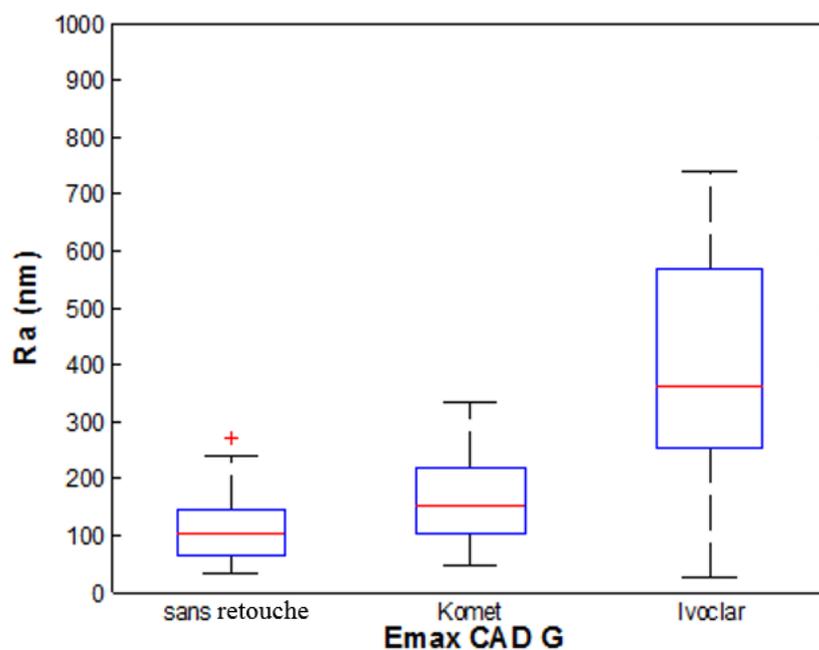


Figure 31 : Boîte à moustache représentant le Ra moyen de l'Emax CAD glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité?

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	1190577,062	2	595288,531	34,934	,000
Intra-groupes	1431381,605	84	17040,257		
Total	2621958,667	86			

Tableau 17 : Test statistique Anova (Emax CAD G)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: quelle est la rugosité?						
Test de Tukey						
(I) de quelle céramique s'agit-il?	(J) de quelle céramique s'agit-il?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
EmCADG non retouchée	EmCADG retouchée komet	-56,93433	33,70485	,215	-137,3527	23,4840
	EmCADG retouchée ivoclar	-276,11041*	34,62845	,000	-358,7324	-193,4884
EmCADG retouchée komet	EmCADG non retouchée	56,93433	33,70485	,215	-23,4840	137,3527
	EmCADG retouchée ivoclar	-219,17607*	34,62845	,000	-301,7981	-136,5541
EmCADG retouchée ivoclar	EmCADG non retouchée	276,11041*	34,62845	,000	193,4884	358,7324
	EmCADG retouchée komet	219,17607*	34,62845	,000	136,5541	301,7981

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 18 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax CAD G).

Le test Anova (tab. 17) aboutit une nouvelle fois à la conclusion qu'au moins un des 3 groupes d'Emax CAD Glacé classés selon le type de traitement de surface effectué, diffère significativement des autres. Les 3 groupes n'appartiennent donc pas à une même population pour la variable observée (rugosité). L'hypothèse nulle est rejetée avec $p\text{-value} < 10^{-3}$.

Le test de Tukey (tab. 18) met en évidence que les échantillons Emax CAD Glacés non retouchés et Emax CAD Glacés retouchés et polis avec Komet ne sont pas significativement différent ($p\text{-value} > 0.05$; sig = 0.215). Au contraire les échantillons non retouchés de cette même céramique comparés aux échantillons retouchés avec le kit d'Ivoclar Vivadent montre une différence statistiquement significative ($p\text{-value} < 0.05$).

En conclusion, le Kit komet permet de retrouver pour l'Emax CAD Glacé, après retouche et polissage, un état de surface proche de celui de départ, tandis que le kit ivoclar est moins efficace et ne permet pas de retrouver cet état de surface. Il est toutefois possible de noter que quelque soit le kit, l'état de surface est moins lisse après retouche et polissage.

3.2. Comparaison pour chaque état de surface pour chaque type de céramique.

Il s'agit de l'utilisation des mêmes outils informatiques statistiques pour l'étude et la comparaison de chaque état de surface (non retouché, retouché et poli avec le kit Komet, retouché et poli avec le kit Ivoclar) pour un type de céramique donné à la fois.

L'hypothèse à tester est la suivante : la rugosité moyenne n'est pas la même selon le type de céramique.

3.2.1. Avant retouches

Descriptives

Quelle est la rugosité

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
Zircone non retouchée	30	18,0933	11,47529	2,09509	13,8084	22,3782	7,33	54,27
EmPLTG non retouchée	30	201,1720	97,62694	17,82416	164,7175	237,6265	58,37	498,70
EmPLTPG non retouchée	29	65,3259	38,13283	7,08109	50,8209	79,8308	15,25	176,80
Em CAD G non retouchée	30	112,3070	59,39311	10,84365	90,1292	134,4848	33,25	269,10
Total	119	99,5094	90,71040	8,31541	83,0426	115,9762	7,33	498,70

Tableau 19 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées avant toute retouche et polissage.

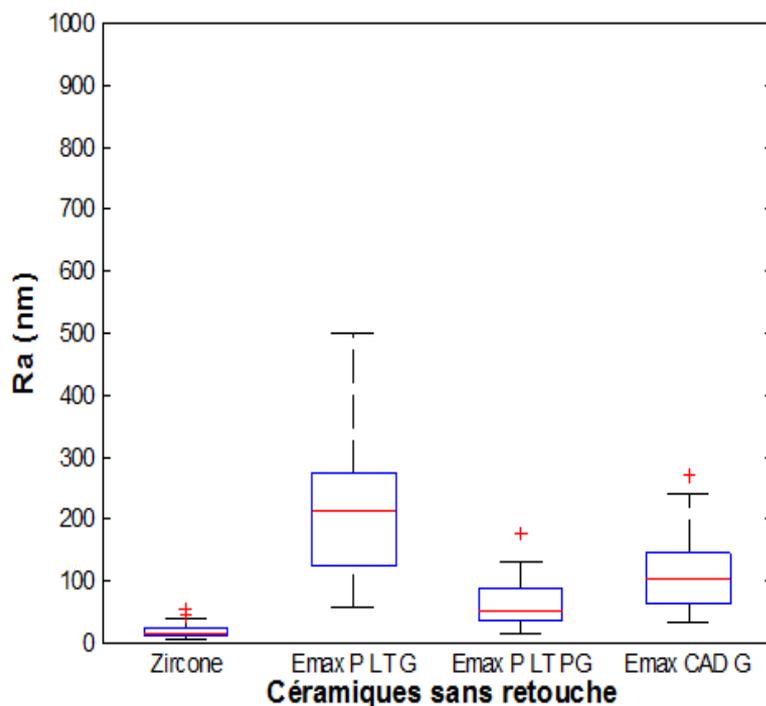


Figure 32 : Boîte à moustache des 4 échantillons de céramique avant retouche

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	547716,238	3	182572,079	49,608	,000
Intra-groupes	423232,219	115	3680,280		
Total	970948,457	118			

Tableau 20 : Test statistique Anova (céramiques non retouchée)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: Quelle est la rugosité						
Test de Tukey						
(I) Quelle type de céramique?	(J) Quelle type de céramique?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Zircone non retouchée	EmPLTG non retouchée	-183,07870*	15,66372	,000	-223,9139	-142,2435
	EmPLTPG non retouchée	-47,23256*	15,79817	,018	-88,4183	-6,0468
	Em CAD G non retouchée	-94,21370*	15,66372	,000	-135,0489	-53,3785
EmPLTG non retouchée	Zircone non retouchée	183,07870*	15,66372	,000	142,2435	223,9139
	EmPLTPG non retouchée	135,84614*	15,79817	,000	94,6604	177,0319
	Em CAD G non retouchée	88,86500*	15,66372	,000	48,0298	129,7002
EmPLTPG non retouchée	Zircone non retouchée	47,23256*	15,79817	,018	6,0468	88,4183
	EmPLTG non retouchée	-135,84614*	15,79817	,000	-177,0319	-94,6604
	Em CAD G non retouchée	-46,98114*	15,79817	,019	-88,1669	-5,7954
Em CAD G non retouchée	Zircone non retouchée	94,21370*	15,66372	,000	53,3785	135,0489
	EmPLTG non retouchée	-88,86500*	15,66372	,000	-129,7002	-48,0298
	EmPLTPG non retouchée	46,98114*	15,79817	,019	5,7954	88,1669

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 21 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques non retouchées).

Le test Anova (tab. 20) aboutit à la conclusion qu'au moins un des 4 échantillons parmi les 4 types de céramiques « avant retouches » étudiés, diffère significativement. Les 4 groupes n'appartiennent donc pas à une même population pour la variable observée (rugosité).

Le test de Tukey (tab. 21) met en évidence que tous les échantillons comparés deux à deux sont significativement différents (p-value<0.05).

En conclusion, chaque type de céramique à un état de surface différent à la sortie du laboratoire. La statistique descriptive nous permet d'affirmer que la zircone est la céramique la plus lisse (Ra moyen = 18.1 nm), suivie par l'Emax press LT Poli et Glacé (Ra moyen=65.33 nm) puis par l'Emax Cad Glacé (Ra moyen = 112.3 nm) et pour finir l'Emax press LT Glacé (Ra moyen = 201.2 nm). En comparant le groupe Emax press LT poli et glacé avec le groupe de la même céramique uniquement glacé, il est possible

de constater que la finition laboratoire polie puis glacée donne selon ces résultats un meilleur état de surface à l'Emax press LT que le simple glaçage.

3.2.2. Après retouches et polissage à l'aide du kit pour céramiques denses Komet

Descriptives

Quelle est la rugosité ?

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
zircone retouchée Komet	30	311,4973	194,03160	35,42516	239,0447	383,9499	32,87	740,70
Em PLTG retouchée Komet	30	170,1733	94,43063	17,24060	134,9124	205,4343	52,84	492,50
Em PLTPG retouchée Komet	30	214,3520	151,99516	27,75039	157,5961	271,1079	38,14	571,30
Em CAD G retouchée Komet	30	169,2413	81,22699	14,82995	138,9107	199,5720	46,79	332,90
Total	120	216,3160	148,20955	13,52962	189,5260	243,1060	32,87	740,70

Tableau 22 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées après retouche et polissage avec le kit Komet.

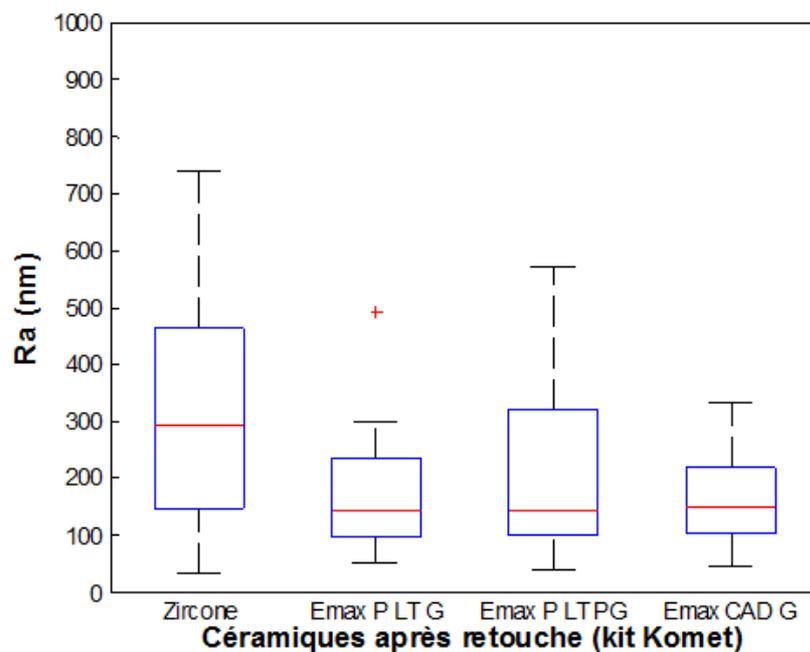


Figure 33 : Boxplots des 4 échantillons de céramiques après retouche et polissage avec le kit Komet.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	402255,403	3	134085,134	7,033	,000
Intra-groupes	2211706,993	116	19066,440		
Total	2613962,396	119			

Tableau 23 : Test statistique Anova (céramiques retouchée avec kit Komet

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: Quelle est la rugosité						
Test de Tukey						
(I) Quelle type de céramique?	(J) Quelle type de céramique?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
zircone retouchée Komet	Em PLTG retouchée komet	141,32400*	35,65243	,001	48,3901	234,2579
	Em PLTPG retouchée komet	97,14533*	35,65243	,037	4,2114	190,0793
	Em CAD G retouchée komet	142,25600*	35,65243	,001	49,3221	235,1899
Em PLTG retouchée komet	zircone retouchée Komet	-141,32400	35,65243	,001	-234,2579	-48,3901
	Em PLTPG retouchée komet	-44,17867	35,65243	,603	-137,1126	48,7553
	Em CAD G retouchée komet	,93200	35,65243	1,000	-92,0019	93,8659
Em PLTPG retouchée komet	zircone retouchée Komet	-97,14533*	35,65243	,037	-190,0793	-4,2114
	Em PLTG retouchée komet	44,17867	35,65243	,603	-48,7553	137,1126
	Em CAD G retouchée komet	45,11067	35,65243	,587	-47,8233	138,0446
Em CAD G retouchée komet	zircone retouchée Komet	-142,25600*	35,65243	,001	-235,1899	-49,3221
	Em PLTG retouchée komet	-,93200	35,65243	1,000	-93,8659	92,0019
	Em PLTPG retouchée komet	-45,11067	35,65243	,587	-138,0446	47,8233

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 24 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques retouchées avec kit Komet).

Le test Anova (tab. 23) aboutit à la conclusion qu'au moins un des 4 échantillons, parmi les 4 types de céramiques « retouchés avec le kit Komet » étudiés, diffère significativement des autres. Les 4 groupes n'appartiennent pas à une même population pour la variable observée (rugosité).

Le test de Tukey (tab. 24) met en évidence que trois types d'échantillons ne sont pas significativement différents entre eux (p-value >0.05).

En conclusion, l'Emax CAD Glacé, l'Emax press LT Poli et glacé et l'Emax press LT Glacé ont après retouche et polissage avec le kit Komet une rugosité similaire.

De plus, le kit de polissage Komet est plus efficace sur les céramiques de type Emax que sur la zircone, et permet d'obtenir des résultats similaires quel que soit l'état de surface initial pour ce type de céramique. Enfin, l'analyse descriptive met en évidence, que la

zirconie qui était la plus lisse à l'origine se retrouve la moins lisse après retouche et polissage par le kit Komet. De plus, Emax PLTG et Emax CAD G sont les céramiques ayant le meilleur comportement au polissage avec le kit Komet.

3.2.3. Après retouche et polissage à l'aide du kit OptraFine, Ivoclar

Descriptives

Quelle est la rugosité

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
Zircone retouchée ivoclar	27	429,4704	141,50832	27,23329	373,4915	485,4492	164,50	778,70
EmPLTG retouchée ivoclar	27	550,6889	181,56782	34,94274	478,8631	622,5147	156,70	931,80
EmPLTPG retouchée ivoclar	27	342,7307	174,25235	33,53488	273,7988	411,6627	106,70	731,00
EmCAD G retouchée Ivoclar	27	388,4174	209,18762	40,25818	305,6655	471,1693	25,80	741,10
Total	108	427,8269	192,13692	18,48838	391,1758	464,4779	25,80	931,80

Tableau 25 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées après retouche et polissage avec le kit Ivoclar.

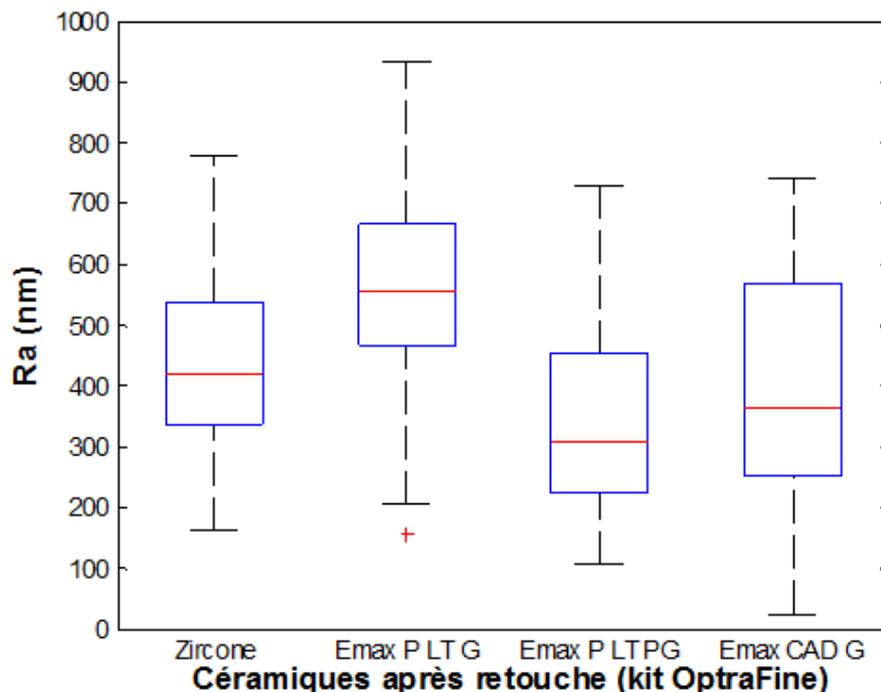


Figure 34 : Boxplots des 4 échantillons après retouche et polissage avec le kit OptraFine d'Ivoclar.

ANOVA à 1 facteur

Quelle est la rugosité

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	645090,311	3	215030,104	6,766	,000
Intra-groupes	3304985,299	104	31778,705		
Total	3950075,610	107			

Tableau 26 : Test statistique Anova (céramiques retouchée avec kit Ivoclar)

Comparaisons multiples						
Variable dépendante: Quelle est la rugosité						
Test de Tukey						
(I) Quelle type de céramique?	(J) Quelle type de céramique?	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Zircone retouchée Ivoclar	EmPLTG retouchée Ivoclar	-121,21852	48,51781	,066	-247,9014	5,4644
	EmPLTPG retouchée Ivoclar	86,73963	48,51781	,285	-39,9432	213,4225
	Em CAD G retouchée Ivoclar	41,05296	48,51781	,832	-85,6299	167,7358
EmPLTG retouchée Ivoclar	Zircone retouchée Ivoclar	121,21852	48,51781	,066	-5,4644	247,9014
	EmPLTPG retouchée Ivoclar	207,95815*	48,51781	,000	81,2753	334,6410
	Em CAD G retouchée Ivoclar	162,27148*	48,51781	,006	35,5886	288,9544
EmPLTPG retouchée Ivoclar	Zircone retouchée Ivoclar	-86,73963	48,51781	,285	-213,4225	39,9432
	EmPLTG retouchée Ivoclar	-207,95815*	48,51781	,000	-334,6410	-81,2753
	Em CAD G retouchée Ivoclar	-45,68667	48,51781	,782	-172,3695	80,9962
Em CAD G retouchée Ivoclar	Zircone retouchée Ivoclar	-41,05296	48,51781	,832	-167,7358	85,6299
	EmPLTG retouchée Ivoclar	-162,27148*	48,51781	,006	-288,9544	-35,5886
	EmPLTPG retouchée Ivoclar	45,68667	48,51781	,782	-80,9962	172,3695

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 27 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques retouchées avec kit Ivoclar).

Le test Anova (tab. 26) aboutit à la conclusion qu'au moins un des 4 échantillons, parmi les 4 types de céramiques « retouchés avec le kit Ivoclar Vivadent » étudiés, diffère significativement. Les 4 groupes n'appartiennent donc pas à une même population pour la variable observée (rugosité).

Le test de Tukey (tab. 27) met en évidence que les trois types d'échantillons ne sont pas significativement différents entre eux (p-value > 0.05).

En conclusion, le kit de polissage OptraFine (Ivoclar Vivadent) permet d'obtenir une rugosité de surface relativement proche pour la zircone, l'Emax CAD Glacé et l'Emax press LT Poli et glacé. L'Emax PLTG présente un comportement différent de l'Emax PLTPG et de l'Emax CAD G ; mais légèrement similaire à la Zircone. De plus, l'Emax press LT Glacé est la céramique la plus difficile à polir après retouche.

4. Synthèse des résultats

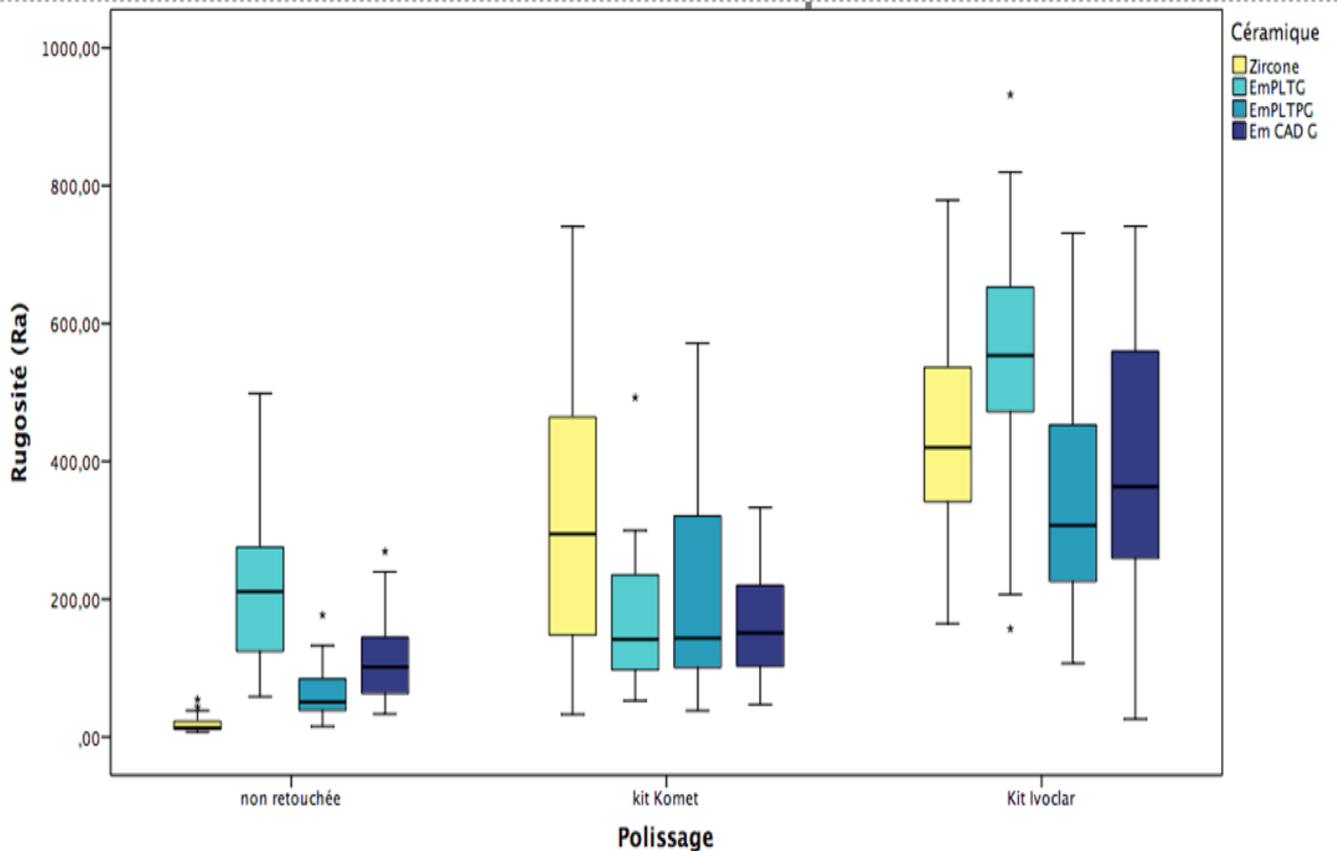


Figure 35 : Visualisation graphique sous forme de boîtes à moustaches : synthèse.

Les nombreuses prises de mesure lors de l'étude et l'utilisation des statistiques descriptives puis analytique permettent donc de poser un certain nombre de constations et de faire un tableau récapitulatif (tab. 28) :

- avant toute retouche, la zircone glacée est la céramique la plus lisse,
- après retouche, la zircone est de loin la céramique la moins lisse avec le kit Komet et est en 2^e position avec le kit OptraFine d'Ivoclar, donc les céramiques de type Emax ont un meilleur état de surface que la zircone après polissage, à l'exception de l'Emax PLTG,
- après retouche et polissage quel que soit le kit et le type de céramique, l'état de surface est plus rugueux ; sauf pour Emax press LT glacé avec le kit Komet ou la rugosité est légèrement meilleure après polissage,
- le kit Ivoclar OptraFine est moins efficace que le kit Komet et ce quel que soit le type de céramique,

- avant retouche, la céramique Emax press LT polie puis glacée au laboratoire est plus lisse que la céramique Emax uniquement glacé,
- après retouches à l'aide du kit Komet, la rugosité moyenne constatée est très proche pour les toutes les céramiques, zirconie mise à part,

Type de céramique	Avant retouche / polissage	Après retouche kit Komet	Après retouche kit OptraFine
Zirconie	+	↑ ++++	↑↑ +++++
Emax press LT glacé	+++	↓ +++	↑↑ +++++
Emax press LT polie glacé	+/+	↑ +++	↑↑ +++++
Emax CAD glacé	++	↑ +++	↑↑ +++++

Tableau 28 : Récapitulatif des résultats obtenus dans l'étude.

Légende

+ Ra moyen=20 nm

+/+ Ra moyen=65 nm

++ Ra moyen=110-160 nm

+++ Ra moyen=160-215 nm

++++ Ra moyen=300-430 nm

+++++ Ra moyen>500 nm

↑ Augmentation de la rugosité de l'état de surface avant et après polissage.

↓ Diminution de la rugosité de l'état de surface avant et après polissage.

↑↑ Augmentation plus importante de la rugosité de l'état de surface avant et après polissage.

Remarque : dans une même colonne ou ligne, des symboles identiques indiquent des groupes statistiquement et significativement identiques pour le paramètre rugosité observé.

5. Discussion

Les céramiques étudiées dans ce travail ont été sélectionnées afin de représenter les différentes céramiques le plus souvent usitées dans l'art dentaire actuellement. Dans le cadre de cette étude, de nombreuses manipulations ont été effectuées, le but étant de prendre un échantillon de mesures suffisamment significatif. En effet, le pool de mesures analysées se doit d'être représentatif d'une population afin d'éliminer au maximum les biais et valeurs aberrantes. Cet échantillon a été traité selon des techniques de statistiques descriptives et analytiques très bien connues et reconnues dans la littérature. Les données ont été analysées et les résultats compilés afin de pouvoir émettre un certain nombre de conclusions (cf partie précédente).

Il convient de comparer les conclusions formées dans cette étude avec la littérature publiée à ce jour sur le sujet.

Il est difficile de trouver un consensus concernant le protocole de polissage des céramiques dans la littérature. Certains auteurs, comme SILVA T.M. et al [60] ont cherché à mettre en lumière un certain nombre de points en communs entre les études.

Il apparaît ainsi, qu'après la rupture de la couche de glaçure, le type de polissage adéquat dépendra du type de céramique [61], puisqu'un des concepts fondamentaux du polissage est que son efficacité dépend des propriétés de la matière polie et du matériel utilisé pour polir, notamment la dureté, la taille et la forme [15]. En effet, selon SADOON et FERARRI, et de manière consensuelle, les céramiques peuvent être classées dans trois catégories distinctes, aux propriétés différentes [62]. De plus, lorsque le re-glaçage est impossible après retouche, il faudra utiliser des pointes caoutchouc, puis utiliser de pâtes diamantées.

Plusieurs études montrent que les surfaces obtenues après polissage ne permettent pas de retrouver une surface similaire au glaçage [63]. Au contraire, d'autres études affirment qu'un état de surface proche de l'état initial glacé peut être observé après polissage à l'aide de kits [64] [65]. Quoi qu'il en soit, l'état de surface et l'effet du polissage intéressent de nombreux praticiens et ont été étudiés par de nombreux chercheurs [61, 66]. La rugosité moyenne R_a est le paramètre de rugosité le plus utilisé par ces derniers. Pour rappel, la rugosité de surface est fonction du microrelief créé lors de la finition et du polissage. Bien que la valeur R_a soit le plus souvent utilisée pour exprimer la rugosité de surface, elle ne décrit pas complètement la surface du matériau. D'autres paramètres d'amplitude et d'espacement [23] devraient

également être étudiés, ainsi que leur influence sur l'adhésion de la plaque dentaire, les caractéristiques optiques ou d'autres propriétés.

Fréquemment, la littérature met en évidence le fait que l'utilisation d'une pâte de polissage diamantée après la procédure de polissage améliore sensiblement l'état de surface [61, 65, 67-69], tandis que son utilisation seule ne permet pas une bonne efficacité. Au contraire, d'autres études mettent en avant de meilleurs résultats par l'utilisation uniquement d'un kit de polissage par rapport à certaines associations avec pâte de polissage [70]. Dans le cadre de notre étude, le polissage à « trois corps » avec le kit OptraFine, c'est-à-dire le protocole qui inclue l'utilisation d'une pâte à polir diamantée, donne de moins bons résultats sur les céramiques testées que le kit Komet pour céramique dense qui lui n'inclue qu'un polissage à « deux corps ».

Les résultats de l'étude montrent également que la zircone se laisse moins bien polir que les céramiques à base de disilicate de lithium (Emax). Une explication possible met en lien les propriétés physiques et mécaniques de la zircone, notamment sa plus haute dureté par rapport à la céramique Emax, et les principes fondamentaux de tout polissage. En effet, un matériel plus dur sera plus difficile à polir puisque la qualité du polissage dépend, entre autres, de la différence de dureté du matériel poli avec le matériel utilisé pour polir. De plus, il est important de noter que dans les différentes études, les céramiques retouchées et polies restent toujours plus rugueuses en comparaison à l'échantillon de contrôle, c'est-à-dire les céramiques non retouchées [71, 72]. Cette constatation est validée dans l'étude, mise à part pour l'Emax press LT glacée dont l'état de surface est amélioré après retouche et polissage par le kit Komet pour céramiques denses. De ce fait notre hypothèse de base selon laquelle l'état de surface est d'aussi bonne qualité avant que après polissage est rejetée.

Lors de l'étude, une constatation s'impose concernant l'état de surface en fonction du type de finition au laboratoire. En effet, la céramique Emax press LT polie et glacée a un meilleur état de surface de départ que la céramique simplement glacée. Ces deux types de finition ont beaucoup fait couler d'encre et de nombreuses études se sont intéressés à les comparer. Il a été globalement accepté qu'une surface glacée produit un état de surface poli tandis qu'une surface terminée par polissage permettra d'obtenir, en plus, des caractéristiques esthétiques plus proches d'une dent naturelle. Certains auteurs préfèrent la finition par polissage

mécanique mais aucun véritable consensus ne se dégage [73]. De plus il faut noter que la longévité des surfaces glacées après mise en fonction en bouche n'est pas bien documentée [71].

Il est également intéressant de mettre en relation l'effet de la rugosité des céramiques sur la formation de la plaque dentaire tout d'abord, puis son effet sur la perception orale que le patient peut en avoir.

Concernant cette dernière, certaines études mettent en évidence que la rugosité d'une restauration ne devrait pas excéder 0,50 μm [52]. Les 4 types d'échantillons de céramiques ont un Ra moyen $< 0,2 \mu\text{m}$ avant retouche et polissage, elles sont donc ressenties comme lisse par le patient. De plus, au vu des résultats obtenus dans l'étude, il est possible d'affirmer que l'utilisation d'un des kits de polissage étudié permet statistiquement d'ôter au patient toute perception orale de la retouche, peu importe le groupe de céramique et le type de kit utilisé, mise à part pour l'Emax PLTG retouchée avec le kit Optrafine (Ivoclar Vivadent France) dont le Ra moyen est de 0.55 μm , donc légèrement supérieur.

Concernant l'adhésion de la plaque bactérienne aux surfaces prothétiques, nous savons que des surfaces très lisses résistent mieux et que le seuil généralement accepté comme le seuil en dessous duquel il n'y a pas d'influence de rugosité sur la formation de la plaque dentaire est de 0,2 μm (Ra) [36, 37].

Les 4 types d'échantillons de céramiques ont un Ra moyen $< 0,2 \mu\text{m}$ avant retouche et polissage :

- après retouche et polissage avec le kit Komet, le Ra moyen pour les 3 types de céramiques Emax reste $< 0,2 \mu\text{m}$, tandis que celui de la zircone est légèrement supérieur à 0,3 μm ,
- après retouche et polissage avec le kit Optrafine (Ivoclar Vivadent France), le Ra moyen varie de 0,35 à 0,55 μm .

Il est possible d'affirmer que le kit Komet est performant concernant ce point d'intérêt tandis que le kit Optrafine l'est moins.

Il faut toutefois noter que la présente étude montre certaines limites. En effet, bien que des kits de polissages intra-oraux aient été utilisés, l'étude a été effectuée in vitro et l'efficacité des systèmes étudiés peut être différente en condition clinique dans le milieu intra-oral. De plus, la littérature montre que la force de pression pendant le polissage influe sur la qualité de l'état de surface. Or, l'étude a été effectuée sous pression manuelle, non automatisé. Il faut

néanmoins mettre en perspective ces limites. En effet, les recommandations du fabricant ont été scrupuleusement respectées lors du protocole de retouche et polissage. De plus, les manipulations ont été effectuées par un seul opérateur, sur de nombreux échantillons, en série. Ceci permet d'atténuer le paramètre opérateur dépendant, d'éliminer d'éventuels résultats aberrants du fait de la taille du test, ainsi que d'éliminer également toute variation selon l'humeur de l'opérateur.

CONCLUSION

La pratique moderne de l'Odontologie implique le respect d'un gradient thérapeutique qui a été profondément bouleversé par un changement de paradigme concernant la rétention des restaurations dentaires. En effet, avec l'évolution des méthodes de collage, les indications des Restaurations Esthétiques en Céramique Collée (RECC), de type inlay-onlays, overlays ou encore veneerlays sont devenues très fréquentes. Les impératifs de ces matériaux et de leur protocole de collage sont tels que les retouches occlusales sont obligatoirement réalisées en bouche. Ces retouches, lorsqu'elles sont nécessaires, génèrent un état de surface impropre à la pérennité de la restauration si elles ne sont pas suivies d'un polissage soigneux.

Dans ce contexte clinique, l'étape de finition-polissage est une étape terminale et non-négligeable car elle conditionne la qualité de l'état de surface et en particulier de sa rugosité. De cet état de surface dépend le devenir de la restauration, puisque la rugosité est un paramètre ayant de nombreuses répercussions sur le comportement intrinsèque du matériau mais également sur son comportement extrinsèque avec son environnement. En effet, la rugosité a un impact considérable sur l'esthétique de la restauration en termes de brillance, de translucidité et de perception de la couleur. Une surface présentant des défauts importants résiste également moins à la fatigue, en particulier en milieu salivaire. Cette rugosité est souvent représentée par la valeur de Ra, qui est un écart moyen arithmétique du profil évalué dans l'axe Z.

Dans ce travail nous avons pu mettre en exergue les différentes justifications des corrections intra orales. En premier lieu, lors de la mise en place des restaurations pour l'ajustage occlusal, l'adaptation marginale et la correction des erreurs accumulées lors de la chaîne de travail. En second lieu lors de l'entretien des pièces prothétiques, en cas de fracture du matériau, ou d'usure liée au temps et aux agressions mécaniques et chimiques du milieu buccal, ainsi qu'aux éventuelles agressions iatrogènes (ultra-sons, air-flow...).

En effet, lors de l'entretien, la bonne maîtrise des techniques de polissage après retouches est essentielle : afin d'améliorer la résistance mécanique pour éviter la fracture, afin d'améliorer le rendu esthétique par la réflexion de lumière, afin d'améliorer la bio-intégration de la pièce prothétique. Cette dernière consiste en un ajustage occlusal en vue de ne pas perturber l'occlusion ni les fonctions de mastication et d'éviter l'usure des dents antagonistes, mais consiste également à éviter la rétention de plaque et diminuer l'irritation mécanique du parodonte.

Il est donc indispensable que le chirurgien-dentiste ait à sa disposition de bonnes méthodes de polissage et des outils adéquats. Il existe de nombreux kits de polissage sur le marché incluant différents types d'outils : les fraises diamantées, les élastomères abrasifs et les pâtes à polir. Malgré un grand nombre de polisseurs disponibles sur le marché, un abrasif universel n'existe pas encore. Deux techniques reposant sur deux principes de base de polissage et de lustrage sont à disposition du praticien: i) le polissage à « deux corps » qui repose sur l'utilisation d'un matériau d'abrasivité forte contre un matériau d'abrasivité moindre, ii) le polissage à « trois corps » qui consiste, lui, à placer des particules abrasives libres entre l'interface et l'instrument utilisé pour polir.

Parmi les facteurs d'influence de la finition et du polissage, il y a notamment la taille de la particule abrasive utilisée, la pression exercée contre le matériel à abraser et la vitesse à laquelle la particule abrasive est frottée au contact du matériel à abraser. A ceux-ci s'ajoutent la différence de dureté entre les deux éléments, abrasif et abrasé, la forme de l'abrasif et la lubrification.

Deux critères sont de première importance afin de juger de la qualité d'un polissage. Tout d'abord, la perception orale que le patient peut avoir de la retouche, qui doit être la plus faible possible, voire quasi inexistante, puis l'impact de la rugosité sur la formation de la plaque bactérienne.

L'étude *in vitro* présentée dans la dernière partie de cet ouvrage répond à cette problématique clinique, au travers d'une analyse comparative de l'état de surface initial puis retouché et poli avec deux systèmes de polissage disponibles sur le marché. Le premier système, Optrafine (Ivoclar), est composé de polissoirs indiqués pour les retouches de tout type de céramique ; le second système est un kit constitué de deux polissoirs successifs, développés spécifiquement pour les céramiques « dures ». Notre analyse, basée sur une approche profilométrique permettant de quantifier différents paramètres de la surface, a été réalisée sur quatre types de céramique différents : deux vitrocéramiques renforcées et mises en forme par technique pressée, une même vitrocéramique renforcée et usinée, et enfin une céramique polycristalline.

La comparaison de l'état de surface avant et après polissage, pour chaque céramique, avec chaque type de kit nous permet d'avancer plusieurs conclusions. Tout d'abord l'état de

surface est plus rugueuse après que avant le polissage (sauf pour l'Emax PLT G mais sans différence significative). Ensuite, la zircone glacée, céramique la plus lisse à l'origine se comporte mal par rapport aux retouches et au polissage en bouche. Enfin, le kit de polissage Optrafine d'Ivoclar est moins performant que le kit Komet, même si les deux kits permettent d'obtenir des rugosités sous le seuil de la perception orale de la retouche ($Ra < 0,5 \mu m$). Nos résultats sont partiellement comparables à ceux de la littérature, en particulier concernant l'impact négatif des retouches intra-orales sur la rugosité, même après polissage. La mise sur le marché très récente des polissoirs Komet testés dans notre étude ne nous permet pas de comparaison puisque aucune autre étude, à notre connaissance, n'en a fait mention jusque-là. Il paraît toutefois possible de conclure que les efforts des industriels pour développer des polissoirs spécifiques, adaptés à ces nouvelles céramiques dites « dures », semblent s'annoncer profitables aux futurs résultats cliniques.

ANNEXES

Figure 1 : Microphotographie en MEB d'une céramique. (doc. J. DEJOUX, SFBD)

Figure 2 : Ecart de forme (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation).

Figure 3 : Ecart d'ondulation (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation).

Figure 4 : Ecart de rugosité (en ordonnée : hauteur des irrégularités / en abscisse : la longueur d'évaluation).

Figure 5 : Méthode de la ligne moyenne.

Figure 6 : Principe de fonctionnement du microscope optique confocal.

Figure 7: Schéma décrivant les méthodes d'analyse utilisées par microscopie confocale et microscopes 3D.

Figure 8 : Franges d'interférences et importance du réglage de l'inclinaison.

Figure 9 : Différents comportements mécaniques pour un même Ra.

Figure 10 : Représentation de Rsk et Rku en fonction.

Figure 11 : Procédures de finition et de polissage : Principe de polissage configuration à « deux corps » et à « trois corps ».

Figure 12 : Récapitulatif des zones qui doivent être polies au mieux compte tenu de leurs rapports au parodonte ou à l'adhésion bactérienne. (doc. O. ETIENNE)

Figure 13 : Les différents types de réflexion.

Figure 14 : Coffret de fraises OptraFine.

Figure 15 : Pâte à polir diamantée OptraFine.

Figure 16 : Références des fraises contenues dans le coffret de fraise Komet.

Figure 17 : Coffret de fraise Komet.

Figure 18 : Photographie du microscope 3D Bruker Figure 19 : Principe de fonctionnement du microscope optique confocal.

Figure 19 : Image bidimensionnelle initiale d'un échantillon.

Figure 20 : 2d de la surface d'un échantillon.

Figure 21 : 3d de la surface d'un échantillon.

Figure 22 : Plots de céramiques rangés sur leur support. (a) Zircone. (b) Emax press LT Poli Glacé. (c) Emax press LT Glacé. (d) Emax CAD Glacé.

Figure 23 : Visualisation du protocole d'enregistrement des données sur des zones aléatoires sur un plot de céramique.

Figure 24 : Menu principal du logiciel Gwyddion.

Figure 25 : Fenêtre Gwyddion « supprimer l'arrière-plan polynomial ».

Figure 26 : Fenêtre Gwyddion « statistiques ».

Figure 27 : Enregistrement 3D EmaxcadG2C ; (2^e plot 3^e mesure de la céramique Emax Cad glacé après retouche à l'aide du kit Komet).

Figure 28 : Boite à moustache représentant le Ra moyen de la zircone avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

Figure 29 : Boite à moustache représentant le Ra moyen de l'Emax press LT glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

Figure 30 : Boite à moustache représentant le Ra moyen de la Emax press Lt poli et glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

Figure 31 : Boite à moustache représentant le Ra moyen de l'Emax CAD glacé avant retouche, puis après retouche et polissage avec chacun des kits étudiés.

Figure 32 : Boite à moustache des 4 échantillons de céramiques avant retouche.

Figure 33 : Boite à moustache des 4 échantillons de céramiques après retouche et polissage avec le kit pour polissage des céramiques denses Komet.

Figure 34 : Boite à moustache des 4 échantillons de céramiques après retouche et polissage avec le kit OptraFine d'Ivoclar.

Figure 35 : Visualisation graphique sous forme de boites à moustaches : synthèse.

Tableau 1 : Principales caractéristiques de céramiques utilisées pour la réalisation des facettes céramiques

Tableau 2 : Les écarts géométriques, leurs profils et la fréquence des défauts

Tableau 3 : Classement « pratique » des différents écarts géométriques

Tableau 4 : Tableau de la valeur moyenne des indices de dureté relevés dans la littérature d'après GRIMONSTER et Coll (1995)

Tableau 5 : Enregistrement des 4 paramètres de rugosité avant retouche pour la zircone, échantillon numéro 1

Tableau 6 : Comparaison pour chaque céramique de la valeur du Ra avant retouche et après retouche polissage avec les 2 Kits étudiés.

Tableau 7 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour la zircone non polie puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

Tableau 8 : Test statistique Anova (zircone)

Tableau 9 : Test de Tukey, comparaisons multiples (zircone).

Tableau 10 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax Press LT Glacé non polie puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

Tableau 11 : Test statistique Anova (Emax PLTG)

Tableau 12 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax PLTG).

Tableau 13 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax Press LT Polie et Glacée non polie/retouchée puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

Tableau 14 : Test statistique Anova (Emax PLTPG).

Tableau 15 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax PLTPG).

Tableau 16 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour l'Emax CAD Glacée non polie/retouchée puis retouchée et polie avec les différents kits étudiés.

Tableau 17 : Test statistique Anova (Emax CAD G).

Tableau 18 : Test de Tukey, comparaisons multiples (Emax CAD G).

Tableau 19 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées avant toute retouche et polissage.

Tableau 20 : Test statistique Anova (céramiques non retouchée).

Tableau 21 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques non retouchées).

Tableau 22 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées après retouche et polissage avec le kit Komet.

Tableau 23 : Test statistique Anova (céramiques retouchée avec kit Komet).

Tableau 24 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques retouchées avec kit Komet).

Tableau 25 : Tableau descriptif des valeurs de Ra obtenues pour les différentes céramiques étudiées après retouche et polissage avec le kit Ivoclar.

Tableau 26 : Test statistique Anova (céramiques retouchée avec kit Ivoclar).

Tableau 27 : Test de Tukey, comparaisons multiples (céramiques retouchées avec kit Ivoclar).

Tableau 28 : Récapitulatif des résultats obtenus dans l'étude.

Equation 1 : calcul de Ra.

Equation 2 : calcul de Rq.

Equation 3 : calcul de Rsk.

Equation 4 : calcul de Rku.

Zircone Wieland glacée avant retouche/polissage

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Ra1	13,84	11,31	13,24	30,46	12,41	11,16	7,33	29,69	42,93	13,47
2è Mesure Ra2	11,43	17,22	11,36	21,88	22,69	7,37	8,87	19,91	54,27	13,04
3è Mesure Ra3	11,62	14,54	10,14	9,64	38,23	7,57	7,93	24,93	27,49	16,84
Ra moyen/échantillon	12,30	14,36	11,58	20,66	24,44	8,70	8,04	24,84	41,56	14,45
1ère Mesure Rq1	17,47	18,59	16,94	35,90	16,25	15,31	9,44	36,31	51,61	16,94
2è Mesure Rq2	14,72	22,35	15,53	26,63	29,49	9,36	11,30	25,92	75,52	16,32
3è Mesure Rq3	19,17	18,97	13,11	12,34	45,09	9,61	11,67	29,80	44,67	21,29
Rq moyen/échantillon	17,12	19,97	15,19	24,96	30,28	11,43	10,80	30,68	57,27	18,18
1ère Mesure Asymétrie	-0,30	-1,73	0,47	-0,23	-0,32	-1,42	0,42	-0,31	0,34	-0,12
2ème Mesure Asymétrie	0,26	-0,42	-1,54	-0,10	0,03	0,15	-0,06	0,09	0,70	-0,32
3e Mesure Asymétrie	3,90	-0,06	-0,31	0,28	0,09	-0,04	7,36	0,34	5,05	-0,34
1ère Mesure Kurtosis	0,31	31,60	1,11	0,52	4,07	17,20	2,98	-0,11	0,16	0,29
2ème Mesure Kurtosis	3,32	0,58	10,30	-0,18	0,78	0,95	1,48	2,55	3,71	0,28
3e Mesure Kurtosis	38,90	4,25	984,00	3,60	-0,59	0,46	281,00	-0,36	101,00	0,39
Ra moyen total	18,09									
Rq moyentotal	23,59									

Emax press LT Glacée avant retouche/polissage

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	291,80	225,80	236,50	68,52	498,70	114,56	322,40	233,90	70,85	191,70
2è Mesure Sa2	125,10	292,50	237,40	216,10	279,70	108,00	260,80	305,20	58,37	147,70
3è Mesure Sa3	205,90	245,10	275,70	124,17	275,50	128,20	149,20	103,70	86,39	155,70
Sa moyen/échantillon	207,60	254,47	249,87	136,26	351,30	116,92	244,13	214,27	71,87	165,03
1ère Mesure Sq1	370,50	274,30	294,40	88,45	635,90	146,79	390,20	297,70	98,11	260,20
2è Mesure Sq2	163,50	371,30	304,20	265,80	342,40	143,00	310,60	400,80	84,33	185,30
3è Mesure Sq3	254,50	341,00	352,30	156,10	350,70	163,50	184,70	142,60	114,33	203,50
Sq moyen/échantillon	262,83	328,87	316,97	170,12	443,00	151,10	295,17	280,37	98,92	216,33
1ère Mesure Asymétrie	0,15	-0,04	-0,08	-0,74	0,18	0,22	-0,25	0,50	0,68	0,85
2ème Mesure Asymétrie	-0,19	-0,11	0,87	-21,00	0,36	0,37	0,24	0,55	0,89	0,42
3e Mesure Asymétrie	0,12	0,05	0,02	0,37	0,29	0,33	-0,45	0,72	-0,56	0,07
1ère Mesure Kurtosis	0,88	-0,06	-0,16	5,15	0,92	0,87	0,31	0,97	12,70	5,57
2ème Mesure Kurtosis	1,22	0,51	1,01	-0,12	0,03	2,27	-0,39	11,10	10,20	0,21
3e Mesure Kurtosis	-0,12	8,17	0,78	-0,07	0,29	4,18	0,25	3,29	2,74	0,64
Ra moyen total	201,17									
Sq moyen total	256,37									

Emax press LT Polie et glacée avant retouche/polissage

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	132,40	50,35	49,95	32,21	69,77	93,43	28,62	44,77	38,31	32,47
2è Mesure Sa2	26,27	51,98	59,40	15,25	84,28	103,90		116,65	39,67	41,34
3è Mesure Sa3	29,66	124,40	81,29	50,75	75,39	176,80	30,58	77,44	92,82	44,30
Sa moyen/échantillon	62,78	75,58	63,55	32,74	76,48	124,71	29,60	79,62	56,93	39,37
1ère Mesure Sq1	234,80	61,76	64,75	42,20	95,36	123,98	36,61	54,54	48,81	39,56
2è Mesure Sq2	35,36	64,52	74,16	20,63	106,02	147,00		149,27	51,80	53,94
3è Mesure Sq3	36,89	180,00	102,68	62,21	96,10	208,90	38,31	95,31	121,93	54,10
Sq moyen/échantillon	102,35	102,09	80,53	41,68	99,16	159,96	24,97	99,71	74,18	49,20
1ère Mesure Asymétrie	2,70	-0,45	-0,10	0,28	0,16	-0,59	0,47	0,00	-0,03	-0,21
2ème Mesure Asymétrie	0,60	0,29	-0,04	0,54	0,53	1,62		0,23	-0,19	-0,43
3e Mesure Asymétrie	0,29	0,36	0,23	-0,76	0,52	0,26	0,15	0,56	0,27	-0,33
1ère Mesure Kurtosis	17,50	0,27	0,30	3,17	5,73	1,58	2,17	-0,41	0,67	-0,48
2ème Mesure Kurtosis	1,78	-0,03	-0,26	20,80	0,44	20,70		0,19	2,46	1,31
3e Mesure Kurtosis	0,11	4,74	1,07	1,26	0,07	-0,40	2,53	0,26	2,94	-0,18
Ra moyen total	64,14									
Sq moyen total	83,38									

Emax CAD glacée avant retouche/polissage

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	178,90	85,43	41,17	92,75	63,08	82,79	111,47	130,30	144,50	97,55
2è Mesure Sa2	99,23	60,52	189,80	74,44	54,88	103,60	153,50	48,48	239,70	53,44
3è Mesure Sa3	269,10	33,25	111,80	39,93	112,66	203,10	94,17	123,20	166,40	110,07
Sa moyen/echantillon	182,41	59,73	114,26	69,04	76,87	129,83	119,71	100,66	183,53	87,02
1ère Mesure Sq1	231,70	94,21	52,01	129,27	80,86	102,22	132,89	181,00	195,60	126,79
2è Mesure Sq2	135,12	76,32	242,20	95,37	68,70	154,00	214,00	66,88	323,80	69,61
3è Mesure Sq3	343,40	45,56	152,00	51,81	138,50	265,80	124,25	188,00	256,60	136,89
Sq moyen/echantillon	236,74	72,03	148,74	92,15	96,02	174,01	157,05	145,29	258,67	111,10
1ère Mesure Assymétrie	0,44	0,14	0,20	0,14	-0,42	-0,29	0,08	-0,85	-4,41	0,13
2ème Mesure Assymétrie	0,10	0,19	-0,46	-0,28	-0,14	-6,75	-1,83	0,63	-0,59	0,47
3e Mesure Assymétrie	-0,73	0,66	0,01	-0,24	-0,44	-0,31	-0,41	-1,27	0,78	-0,69
1ère Mesure Kurtosis	2,45	1,25	8,33	5,90	0,86	0,82	-0,54	4,34	188,00	0,72
2ème Mesure Kurtosis	1,30	3,10	1,05	0,83	0,16	321,00	18,70	18,20	3,10	4,87
3e Mesure Kurtosis	0,79	14,50	1,47	2,28	0,69	0,15	1,67	6,78	7,48	2,15
Ra moyen total	112,31									
Sq moyentotal	149,18									

Zircone Wieland Glacé après retouche/polissage avec le kit Komet

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	464,10	147,80	595,80	86,70	579,90	740,70	304,00	398,10	113,11	107,37
2è Mesure Sa2	471,40	160,20	298,30	94,99	540,70	120,10	213,10	291,10	252,80	403,70
3è Mesure Sa3	509,70	192,00	326,00	99,68	344,00	404,50	152,70	683,60	32,87	215,90
Sa moyen/échantillon	481,73	166,67	406,70	93,79	488,20	421,77	223,27	457,60	132,93	242,32
1ère Mesure Sq1	712,90	193,50	728,40	113,91	720,90	897,20	385,40	549,80	146,93	134,56
2è Mesure Sq2	609,60	211,00	368,60	118,53	664,30	156,40	268,40	372,70	345,40	501,10
3è Mesure Sq3	710,30	284,30	398,60	125,96	432,50	531,10	192,30	829,00	40,33	298,00
Sq moyen/échantillon	677,60	229,60	498,53	119,47	605,90	528,23	282,03	583,83	177,55	311,22
1ère Mesure Asymétrie	-1,82	-0,15	-0,59	-0,31	-0,37	-0,61	-0,58	-1,15	-0,23	-0,54
2ème Mesure Asymétrie	-1,00	-0,49	-0,07	-0,32	-0,40	-0,67	-0,22	-0,57	-0,86	-0,75
3e Mesure Asymétrie	-1,15	-1,60	-0,47	-0,13	-0,13	-0,47	-0,16	-0,38	-0,31	-1,55
1ère Mesure Kurtosis	6,20	1,15	-0,24	4,18	-0,34	-0,21	0,52	2,42	0,92	0,35
2ème Mesure Kurtosis	1,68	1,43	-0,41	0,51	-0,26	1,89	0,21	0,62	2,86	0,92
3e Mesure Kurtosis	1,65	5,68	0,04	0,39	1,05	0,68	0,64	0,26	-0,39	5,94
Ra moyen total	311,50									
Sq moyentotal	401,40									

Emax press LT glacée après retouche/polissage avec le kit Komet

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	52,84	187,00	271,40	118,90	90,87	95,30	121,20	165,90	492,50	131,20
2è Mesure Sa2	112,83	152,00	166,70	282,00	128,60	208,20	75,66	244,60	251,90	299,50
3è Mesure Sa3	194,30	84,90	115,50	97,23	183,00	63,04	89,23	111,00	235,10	282,80
Sa moyen/échantillon	119,99	141,30	184,53	166,04	134,16	122,18	95,36	173,83	326,50	237,83
1ère Mesure Sq1	69,20	265,00	371,40	156,80	120,46	133,40	160,10	225,70	699,30	188,60
2è Mesure Sq2	144,87	214,00	222,20	385,00	172,90	310,00	97,35	308,10	319,30	401,20
3è Mesure Sq3	261,10	117,20	149,80	129,69	247,40	86,17	112,84	146,80	333,50	367,30
Sq moyen/échantillon	158,39	198,73	247,80	223,83	180,25	176,52	123,43	226,87	450,70	319,03
1ère Mesure Asymétrie	-0,79	-1,67	-1,16	-0,76	-0,64	0,10	-0,84	-0,96	-3,26	-1,91
2ème Mesure Asymétrie	-0,77	1,20	-1,03	-1,27	-1,36	-1,30	-0,77	-0,41	-0,52	-0,31
3e Mesure Asymétrie	0,59	-0,79	-0,09	-0,53	-0,99	-0,28	-0,53	-633,00	-1,46	-0,13
1ère Mesure Kurtosis	4,54	13,20	4,97	1,82	2,42	3,68	2,56	3,49	33,60	10,20
2ème Mesure Kurtosis	1,54	3,56	2,96	3,88	5,94	6,93	1,87	0,72	2,47	1,55
3e Mesure Kurtosis	1,76	4,11	3,03	2,80	2,81	5,20	0,20	4,24	4,46	2,35
Ra moyen total	170,17									
Sq moyentotal	230,56									

Emax press LT polie et glacée après retouche/polissage avec le kit Komet

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	114,20	340,90	320,80	261,20	547,30	571,30	95,50	100,75	129,70	38,14
2è Mesure Sa2	130,20	492,90	166,90	193,80	98,44	107,90	221,90	451,00	156,60	83,20
3è Mesure Sa3	81,18	126,40	381,90	125,20	108,00	340,10	181,10	313,10	83,73	67,22
Sa moyen/échantillon	108,53	320,07	289,87	193,40	251,25	339,77	166,17	288,28	123,34	62,85
1ère Mesure Sq1	166,60	466,30	491,10	364,00	666,00	736,60	153,50	127,55	164,20	47,51
2è Mesure Sq2	169,40	655,90	230,30	276,40	134,58	160,00	397,10	601,30	209,90	102,27
3è Mesure Sq3	105,59	195,70	487,20	174,60	145,10	464,90	278,00	402,60	105,83	86,92
Sq moyen/échantillon	147,20	439,30	402,87	271,67	315,23	453,83	276,20	377,15	159,98	78,90
1ère Mesure Asymétrie	-0,84	-1,31	-2,67	-1,06	-0,09	-0,61	-2,73	-0,32	-0,15	0,01
2ème Mesure Asymétrie	-0,42	-0,57	-0,38	-1,13	-1,16	-1,87	-2,82	-1,24	-1,23	0,13
3e Mesure Asymétrie	-0,34	-2,48	-0,84	-1,68	-0,04	-0,35	-2,43	-0,43	-0,40	-0,11
1ère Mesure Kurtosis	4,95	3,30	14,80	4,27	-0,11	1,42	18,50	0,87	0,30	1,83
2ème Mesure Kurtosis	0,94	1,45	3,18	4,21	3,95	13,60	32,70	7,69	5,73	-0,29
3e Mesure Kurtosis	2,40	19,30	1,83	6,81	2,98	4,32	11,00	5,08	0,35	1,07
Ra moyen total	214,35									
Sq moyentotal	292,23									

Emax CAD glacée après retouche/polissage avec le kit Komet

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1ère Mesure Sa1	127,60	110,49	311,20	90,31	100,30	215,70	115,50	263,50	164,20	201,70
2è Mesure Sa2	133,00	163,20	219,90	102,30	75,80	79,94	332,90	274,50	184,70	87,36
3è Mesure Sa3	84,28	115,70	242,70	105,07	46,79	215,60	138,50	197,70	328,40	248,40
Sa moyen/échantillon	114,96	129,80	257,93	99,23	74,30	170,41	195,63	245,23	225,77	179,15
1ère Mesure Sq1	181,60	143,46	409,40	120,95	141,40	311,20	154,90	351,90	220,80	301,80
2è Mesure Sq2	173,90	234,90	290,30	175,20	100,24	97,31	419,90	366,00	284,00	116,19
3è Mesure Sq3	118,60	154,90	316,20	135,06	59,89	297,30	194,40	263,50	417,70	344,20
Sq moyen/échantillon	158,03	177,75	338,63	143,74	100,51	235,27	256,40	327,13	307,50	254,06
1ère Mesure Asymétrie	-1,76	-0,43	-0,74	-0,84	-0,85	-1,57	0,06	-0,44	0,36	1,90
2ème Mesure Asymétrie	-0,28	-0,63	0,30	-17,30	-0,32	-0,37	0,08	-0,86	-2,20	-0,89
3e Mesure Asymétrie	-1,21	-0,44	-0,03	-0,60	-0,56	-1,31	-1,05	0,51	-0,22	-1,07
1ère Mesure Kurtosis	7,05	1,53	6,35	5,15	3,24	6,70	2,63	2,14	2,02	45,50
2ème Mesure Kurtosis	1,06	4,66	1,20	954,00	2,83	-0,35	0,37	3,94	20,40	3,18
3e Mesure Kurtosis	4,10	1,67	1,13	1,15	0,48	3,66	4,24	26,60	0,32	6,24
Ra moyen total	169,24									
Sq moyentotal	229,90									

Zircone Wieland glacée après retouche/polissage avec le kit OptraFine

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ère Mesure Sa1	214,40	364,30	420,00	425,20	671,30	440,00	421,00	353,00	567,90
2è Mesure Sa2	357,90	325,00	450,8	281,70	330,00	289,10	363,60	533,00	584,00
3è Mesure Sa3	324,50	164,50	637,80	454,50	374,70	549,80	378,90	540,10	778,70
Sa moyen/échantillon	298,93	284,60	1855,27	387,13	458,67	426,30	387,83	475,37	643,53
1ère Mesure Sq1	268,40	462,50	545,60	574,90	867,70	573,70	547,10	473,10	834,00
2è Mesure Sq2	437,30	392,60	695,10	368,40	441,60	358,30	466,20	688,40	712,60
3è Mesure Sq3	419,20	202,60	869,90	624,20	472,60	726,30	507,50	676,80	985,50
Sq moyen/échantillon	374,97	352,57	703,53	522,50	593,97	552,77	506,93	612,77	844,03
1ère Mesure Asymétrie	-0,39	-0,38	-1,21	-1,06	-0,46	0,29	-0,47	0,04	-1,61
2ème Mesure Asymétrie	-0,15	-0,55	-0,90	-0,67	-0,76	0,36	-0,49	-0,44	-0,14
3e Mesure Asymétrie	-1,16	-0,50	-1,22	-1,10	-0,66	-0,44	-0,79	-0,82	-0,81
1ère Mesure Kurtosis	0,74	0,29	2,75	2,01	0,40	0,53	0,12	0,88	3,24
2ème Mesure Kurtosis	-0,18	-0,27	0,80	1,08	1,47	-0,17	0,49	0,00	-0,52
3e Mesure Kurtosis	11,00	0,26	1,85	1,79	0,24	0,60	1,05	0,63	0,17
Ra moyen total	386,52								
Sq moyen total	562,67								

Emax press LT glacée après retouche/polissage avec le kit OptraFine

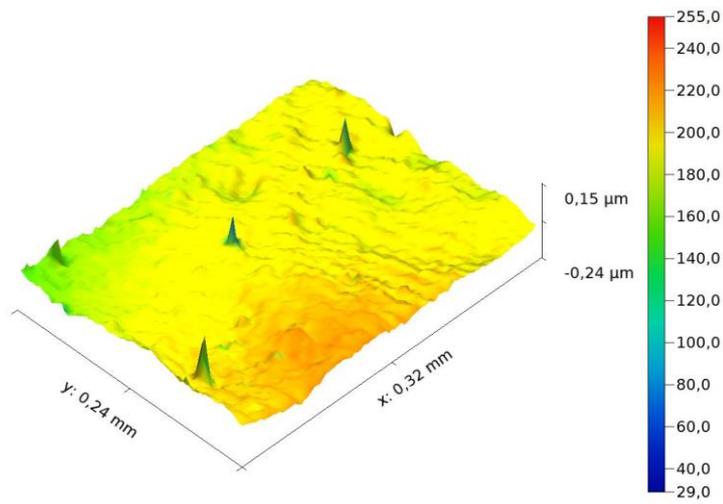
Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ère Mesure Sa1	819,60	513,40	677,90	206,90	531,00	604,40	385,90	431,70	762,80
2è Mesure Sa2	560,60	559,50	804,80	156,70	462,90	515,80	553,60	480,70	702,60
3è Mesure Sa3	520,30	627,80	931,80	620,70	342,40	488,30	718,80	290,20	597,50
Sa moyen/échantillon	633,50	566,90	804,83	328,10	445,43	536,17	552,77	400,87	687,63
1ère Mesure Sq1	1062,40	742,70	866,70	266,80	687,30	805,80	553,60	592,80	1040,80
2è Mesure Sq2	722,90	676,00	1035,00	208,00	587,70	731,50	735,10	627,90	937,00
3è Mesure Sq3	530,10	811,60	1213,40	792,10	463,40	645,40	894,80	401,20	783,00
Sq moyen/échantillon	771,80	743,43	1038,37	422,30	579,47	727,57	727,83	540,63	920,27
1ère Mesure Asymétrie	-0,70	-1,39	-0,87	-0,29	-0,43	-1,36	-2,03	-1,73	-1,58
2ème Mesure Asymétrie	-0,79	-0,58	-1,16	0,44	-1,15	-1,79	-1,01	-0,95	-1,49
3e Mesure Asymétrie	-0,38	-1,08	-1,30	-0,65	0,59		0,06	-2,07	-1,18
1ère Mesure Kurtosis	1,03	4,30	3,04	0,76	0,34	6,02	10,40	6,34	-1,58
2ème Mesure Kurtosis	2,77	-0,24	3,69	1,39	16,10	8,53	5,13	1,88	6,18
3e Mesure Kurtosis	0,64	2,39	5,27	4,58	2,00	13,90	1,15	17,90	3,22
Ra moyen total	550,69								
Sq moyen total	719,07								

Emax press LT polie et glacée après retouche/polissage avec le kit OptraFine

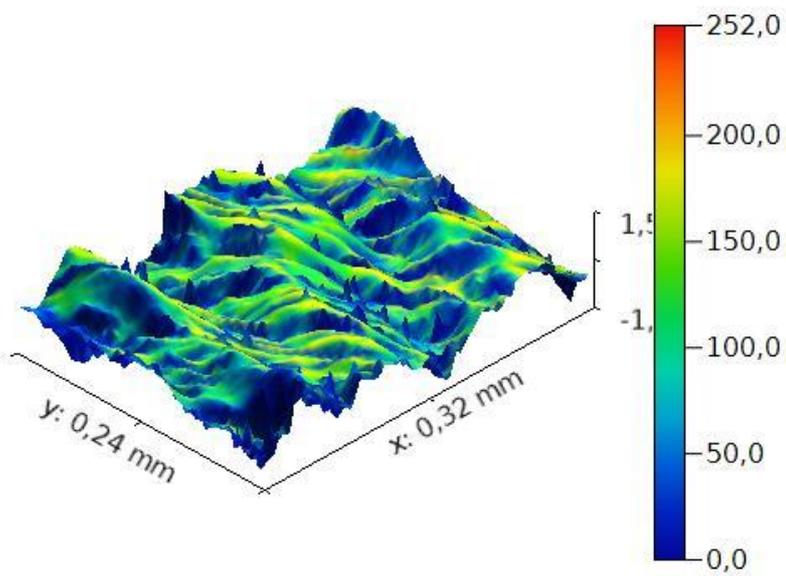
Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ère Mesure Sa1	224,70	111,23	207,20	228,30	331,10	377,00	0,54	359,80	459,80
2è Mesure Sa2	408,90	106,70	290,30	458,10	147,80	271,90	663,20	292,40	454,20
3è Mesure Sa3	307,20	118,40	451,60	689,00	136,80	226,50	0,39	264,90	731,00
Sa moyen/échantillon	313,60	112,11	316,37	458,47	205,23	291,80	221,38	305,70	548,33
1ère Mesure Sq1	275,90	142,00	269,50	304,60	409,90	522,50	0,70	564,90	656,50
2è Mesure Sq2	520,10	143,71	383,30	681,40	194,60	462,20	852,50	399,90	640,80
3è Mesure Sq3	386,10	176,40	713,90	927,70	192,50	289,60	500,30	357,60	934,30
Sq moyen/échantillon	394,03	154,04	455,57	637,90	265,67	424,77	451,17	440,80	743,87
1ère Mesure Asymétrie	-0,36	-0,47	-0,89	-1,13	-0,16	-2,06	-0,68	-8,26	-2,02
2ème Mesure Assymétrie	-0,53	-1,13	-1,04	-2,88	-0,60	-3,95	-0,72	-1,42	-2,02
3e Mesure Asymétrie	-0,89	-0,70	-1,70	-1,67	-1,03	-0,39	-0,29	-1,21	-0,92
1ère Mesure Kurtosis	-0,17	0,70	3,64	9,67	-0,21	14,70	1,24	192,00	11,80
2ème Mesure Kurtosis	0,51	3,04	4,31	36,50	3,08	41,70	0,33	5,10	15,90
3e Mesure Kurtosis	1,69	4,10	12,50	5,39	4,56	0,85	0,18	19,10	2,09
Ra moyen total	308,11								
Sq moyen total	440,87								

Emax CAD glacée après retouche/polissage avec le kit OptraFine

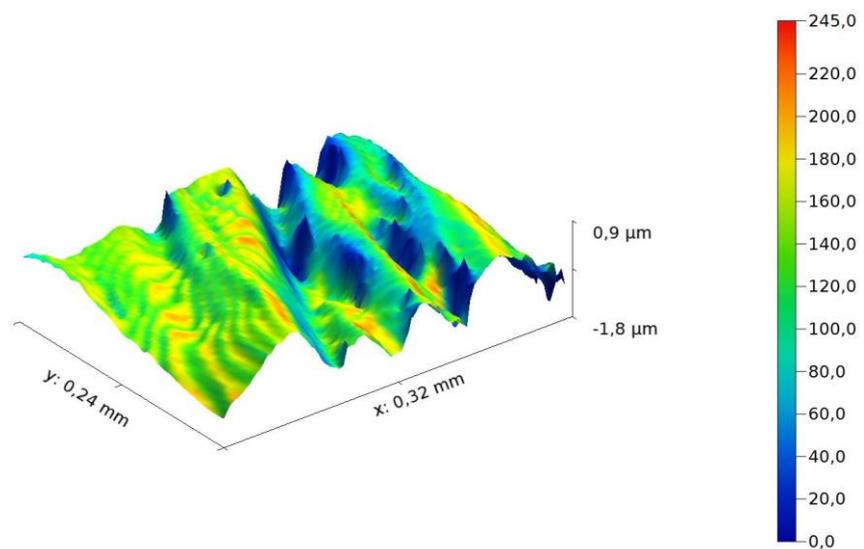
Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1ère Mesure Sa1	497,00	81,58	360,80	542,80	634,00	741,10	286,80	279,50	135,60
2è Mesure Sa2	315,00	83,59	477,80	602,40	363,30	576,40	25,80	339,40	146,10
3è Mesure Sa3	528,00	497,50	639,50	588,50	276,10	731,80	241,90	369,10	125,90
Sa moyen/échantillon	446,67	220,89	492,70	577,90	424,47	683,10	184,83	329,33	135,87
1ère Mesure Sq1	919,00	101,57	488,40	801,00	1190,00	1032,50	388,70	415,60	181,10
2è Mesure Sq2	619,00	111,56	591,00	793,20	534,10	761,00	29,00	490,20	190,20
3è Mesure Sq3	1092,00	674,80	782,20	737,80	348,90	1010,60	324,10	532,90	162,40
Sq moyen/échantillon	876,67	295,98	620,53	777,33	691,00	934,70	247,27	479,57	177,90
1ère Mesure Asymétrie	-6,91	-0,52	-0,49	-1,86	-4,77	-1,60	-2,87	-3,76	-0,67
2ème Mesure Asymétrie	-4,85	-0,77	-0,67	-0,47	-3,60	-1,18	-0,43	-1,98	-0,82
3e Mesure Asymétrie	-6,61	-1,53	-0,54	-0,63	-0,53		-1,07	-2,25	-0,51
1ère Mesure Kurtosis	74,20	1,14	5,82	20,70	33,60	5,33	65,10	83,00	8,35
2ème Mesure Kurtosis	97,10	3,35	0,74	1,76	52,70	2,78	-1,58	17,20	1,64
3e Mesure Kurtosis	63,40	6,24	0,37	1,11	1,19	4,41	4,44	24,60	1,32
Ra moyen total	388,42								
Sq moyen total	566,77								



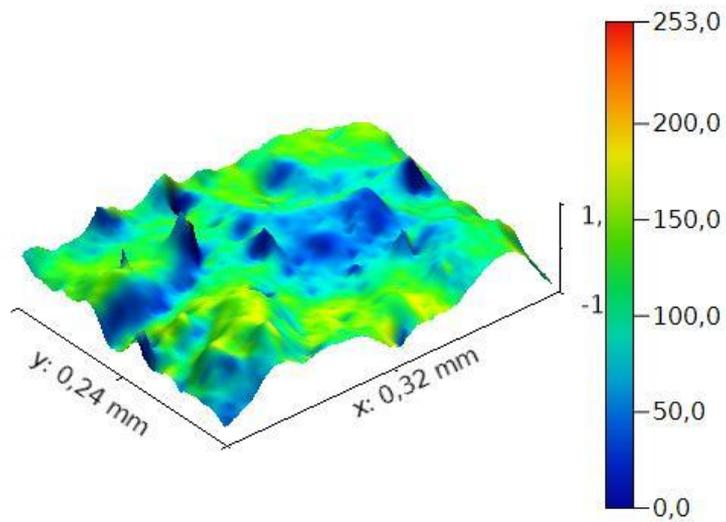
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon de Zircone glacée avant retouche et polissage (zircone 1B).



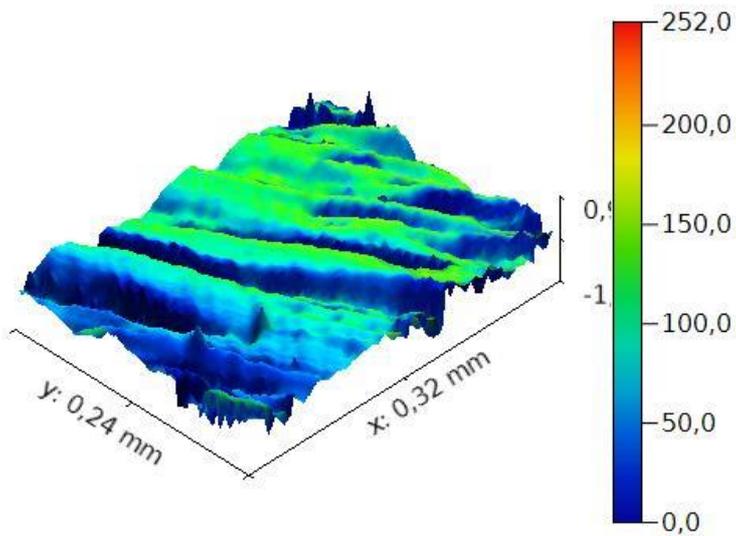
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon de Zircone glacée après retouche et polissage à l'aide du kit Komet (zircone 6B).



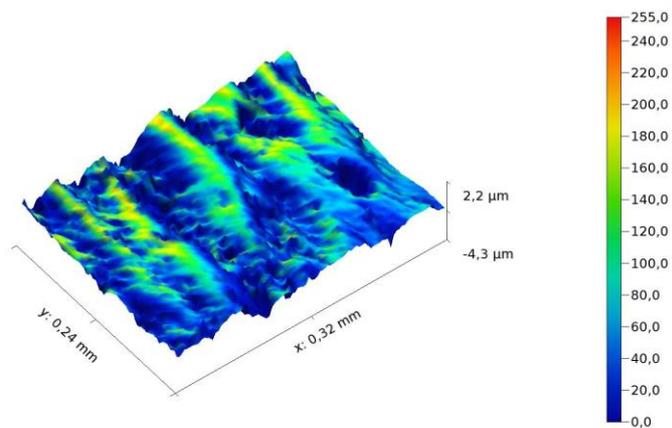
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon de Zircone glacée après retouche et polissage à l'aide du kit OptraFine (zircone 6B).



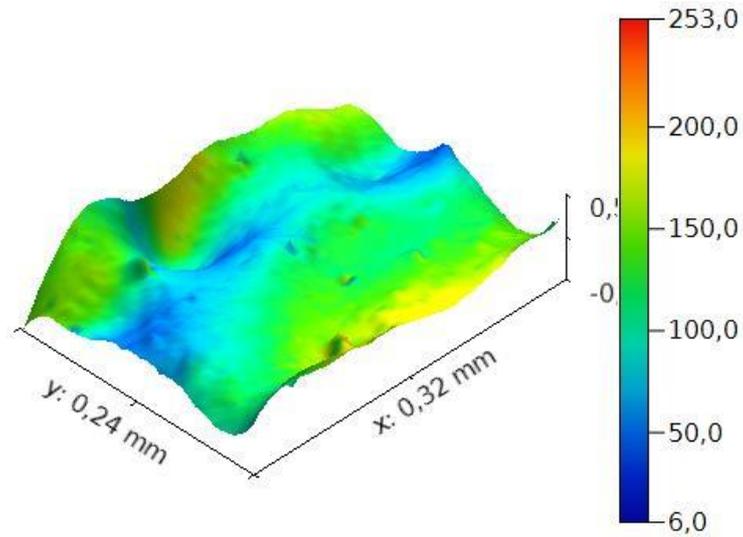
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT glacée avant retouche et polissage (Emax PLT G 10C).



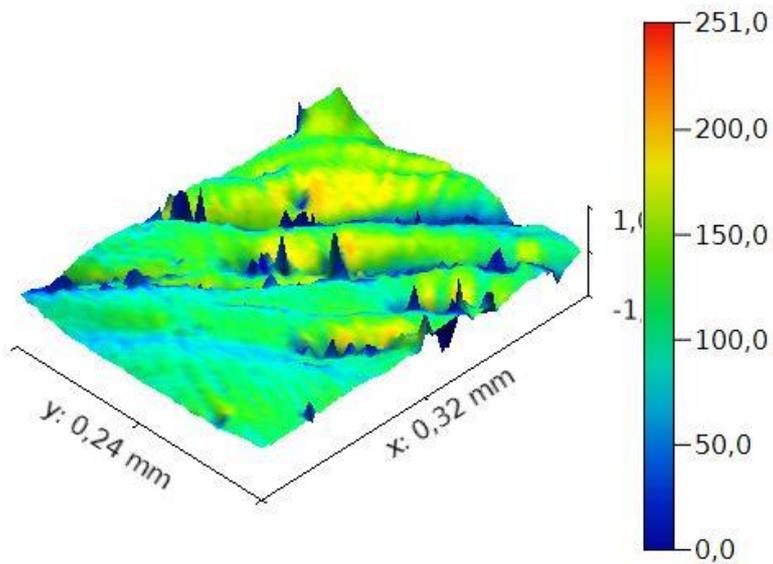
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT glacée après retouche et polissage à l'aide du kit Komet (Emax PLT G 4A).



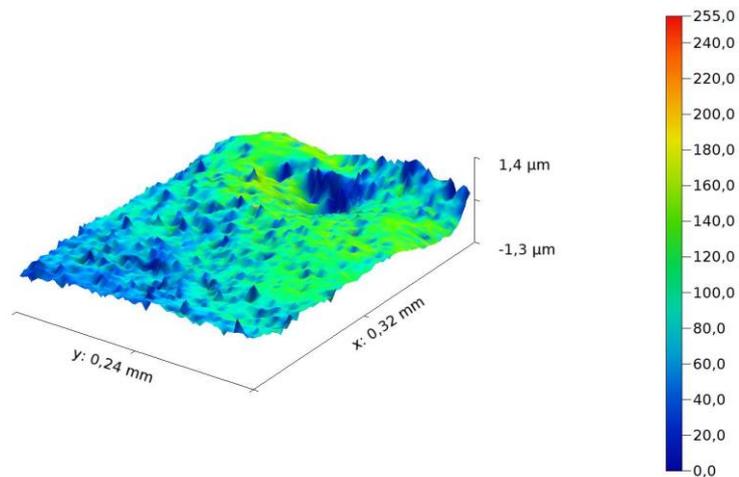
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT glacée après retouche et polissage à l'aide du kit OptraFine (Emax PLT G 4C)



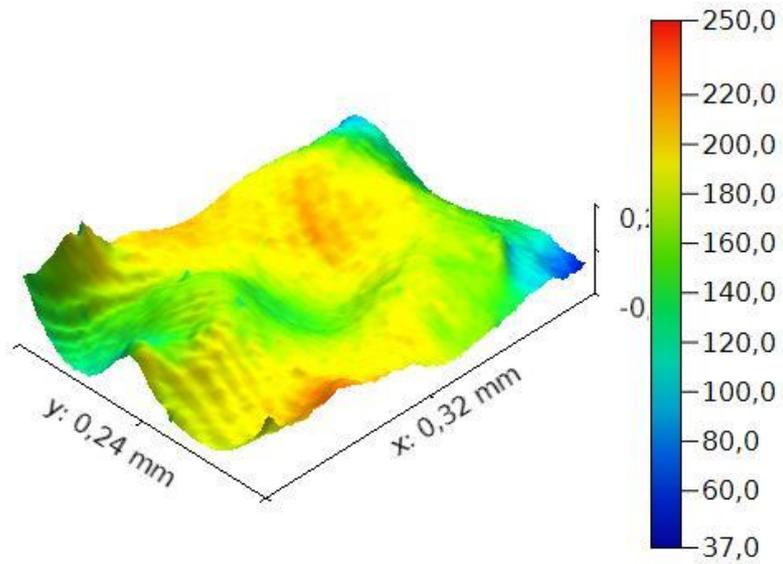
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT polie glacée avant retouche et polissage (Emax PLT PG 5C).



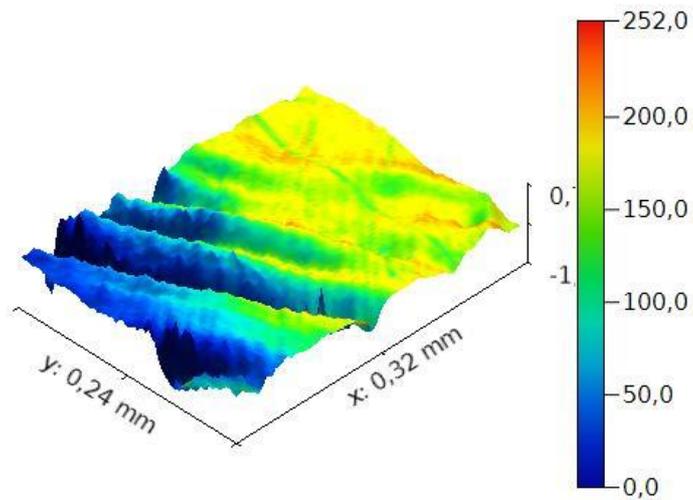
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT polie glacée après retouche et polissage à l'aide du kit Komet (Emax PLT PG 5B).



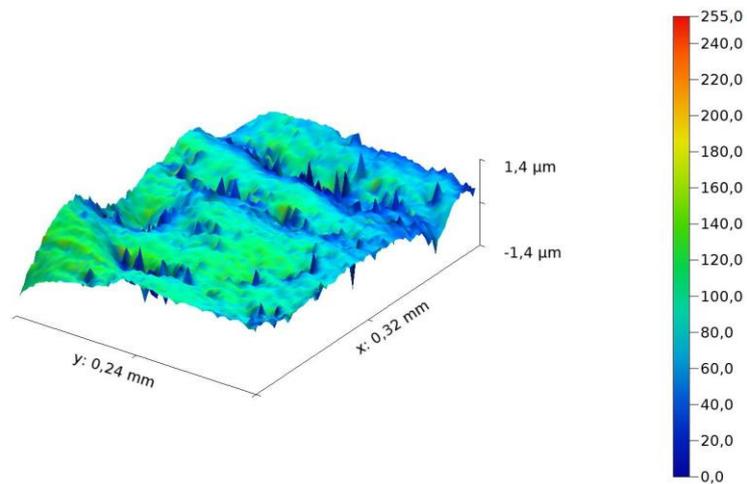
Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax press LT polie glacée après retouche et polissage à l'aide du kit Optrafine (Emax PLT PG 5C).



Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax CAD glacée avant retouche et polissage (Emax CAD G 3B).



Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax CAD glacée après retouche et polissage à l'aide du kit Komet (Emax CAD G 1C).



Exemple d'image 3D de la surface d'un échantillon d'Emax CAD glacée après retouche et polissage à l'aide du kit OptraFine (Emax CAD G 9B).

BIBLIOGRAPHIE

1. DEJOUX, J., *Les céramiques*. Société Française de Biomaterieux Dentaire, 2009.
2. KELLY, J.R. and P. BENETTI, *Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice*. Aust Dent J, 2011. **56 Suppl 1**: p. 84-96.
3. BOLLA, M., et al., *Structure des biomaterieux*. Encycl. med. chir, 1997.
4. POUJADE, J., C. ZERBIB, and D. SERRE, *Céramiques dentaires*. Encyclopédie MédicoChirurgicale, 2003.
5. ALKABRY, M., M. GUAZZATO, and M.V. SWAIN, *Effect of sandblasting, grinding, polishing and glazing on the flexural strength of two pressable all-ceramic dental materials*. J Dent, 2004. **32**(2): p. 91-9.
6. ETIENNE, O., *Les facettes en céramique*. 2013.
7. CONRAD, H.J., W.J. SEONG, and I.J. PESUN, *Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review*. J Prosthet Dent, 2007. **98**(5): p. 389-404.
8. LAWSON, N.C. and J.O. BURGESS, *Dental ceramics: a current review*. Compend Contin Educ Dent, 2014. **35**(3): p. 161-6; quiz 168.
9. CONREAUX, C., *La liaison céramo-céramique tiendra-t-elle ses promesses?*, in *Odontologie*. 2011, Nancy.
10. AL-WAHADNI, A. and D.M. MARTIN, *Glazing and finishing dental porcelain: a literature review*. J Can Dent Assoc, 1998. **64**(8): p. 580-3.
11. BURDAIRON, G., *ABREGES DE BIOMATERIAUX DENTAIRE*. 1989: MASSON.
12. MONTAGNE, P., *Materiaux d'obturation et préparations cavitaires : évolution à travers le temps*, in *odontologie*. 2007, Nancy-metz.
13. DAHL, B.L. and G. OILO, *In vivo wear ranking of some restorative materials*. Quintessence Int, 1994. **25**(8): p. 561-5.
14. KELLY, J.R., *Dental ceramics: current thinking and trends*. Dent Clin North Am, 2004. **48**(2): p. viii, 513-30.
15. POWERS, J.M. and J.C. WATAHA, *Properties and manipulation*. 10th ed. DENTAL MATERIALS.
16. FASBINDER, D.J., et al., *A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report*. J Am Dent Assoc, 2010. **141 Suppl 2**: p. 10S-4S.
17. Ceralor, L. [cited 2015 janvier 2015]; Available from: <http://www.oraldesign.fr/Francais/6/vitro-ceramique.php4>.
18. Larousse. Available from: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/finition/33831>.
19. BRIAND, D.E., *Les composites d'obturation :Etude expérimentale de la finition des surfaces par abrasion*. 1990.
20. JEFFERIES, S., *Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review*. Dent Clin North Am 51:379, 2007.
21. LEIZE-ZAL, E., *Polissage et finition. Techniques pour tous les matériaux d'obturation et de prothèse*. Encycl. med. chir. 2002.
22. RAPHET, B., *Etat de surface - caractérisation*. Technique de l'ingénieur, 2008.
23. AFNOR, P., *Norme européenne ISO 4287. Spécification géométrique des produits. Etat de surface: méthode du profil : termes, définitions et paramètres d'état de surface*. 1998.
24. métrologie, A.m. [cited 2015 avril 2015]; Available from: <http://www.ag2m.fr/base-documentaire/iv-les-methodes-de-mesure/iv4-la-mesure-des-etats-de-surface.html>.
25. BRUKER *Comparing 3D Optical Microscopy Techniques for Metrology Applications*. Application Note 503, 2014.
26. HATTAB, F.N. and O.M. YASSIN, *Etiology and diagnosis of tooth wear: a literature review and presentation of selected cases*. Int J Prosthodont, 2000. **13**(2): p. 101-7.
27. DELONG, R., et al., *The wear of dental porcelain in an artificial mouth*. Dent Mater, 1986. **2**(5): p. 214-9.
28. Gwyddion. Available from: <http://gwyddion.net/documentation/user-guide-fr/roughness-iso.html>.
29. JONDEAU, E. and M. ROCKINGER, *Conditional volatility, skewness and kurtosis*. Les cahiers de recherche, ed. G. HEC. 2000.
30. FREEDMAN, G., *COMTEMPORARY ESTHETIC DENTISTRY*. 2011.
31. FERRACANE, J., *Materiels in dentistry : Principles and applications*.
32. TERRY, D., K. LEINFELDER, and W. GELLER, *Materiel selection & techniques*. 2nd ed. Aesthetic & restorative dentistry. 2013.
33. RICARD, F., *Attaque des céramiques dentaires par la salive artificielle*. Rapport de microthèse ENSIC, 1997.

34. ROBERT, M., *Comportement des matériaux cosmétiques céramiques et composites dans le milieu salivaire : étude expérimentale*. Th. Chir. Dent, 2000.
35. KAWAI, K. and M. URANO, *Adherence of plaque components to different restorative materials*. Oper Dent, 2001. **26**(4): p. 396-400.
36. KANTORSKY, K.Z., et al., *Surface roughness and bacterial adherence to resin composites and ceramics*. Oral Health Prev Dent, 2009. **7**(1): p. 29-32.
37. BOLLEN, C.M., P. LAMBRECHTS, and M. QUIRYNEN, *Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature*. Dent Mater, 1997. **13**(4): p. 258-69.
38. QUIRYNEN, M. and C.M. BOLLEN, *The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature*. J Clin Periodontol, 1995. **22**(1): p. 1-14.
39. GIORDANO, R., M. CIMA, and R. POBER, *Effect of surface finish on the flexural strength of feldspathic and aluminous dental ceramics*. Int J Prosthodont, 1995. **8**(4): p. 311-9.
40. KIM JH, M.P., KIM DK, LAWN BR, *Effect of an adhesive interlayer on the fracture of a brittle coating on a supporting substrate*. J Mater Researc, 2003.
41. MAHMOOD, D.J., E.H. LINDEROTH, and P. VULT VON STEYERN, *The influence of support properties and complexity on fracture strength and fracture mode of all-ceramic fixed dental prostheses*. Acta Odontol Scand, 2011. **69**(4): p. 229-37.
42. HMAIDOUCH, R. and P. WEIGL, *Tooth wear against ceramic crowns in posterior region: a systematic literature review*. Int J Oral Sci, 2013. **5**(4): p. 183-90.
43. MONASKY and TAYLOR, *Studies on wear of porcelain enamel and gold*. J. Prosth.dent, 1971.
44. JAGGER, D.C. and A. HARISON, *An in vitro investigation into the wear effects of unglazed, glazed, and polished porcelain on human enamel*. J Prosthet Dent, 1994. **72**(3): p. 320-3.
45. AL-HIYASAT, A.S., et al., *The abrasive effect of glazed, unglazed, and polished porcelain on the wear of human enamel, and the influence of carbonated soft drinks on the rate of wear*. Int J Prosthodont, 1997. **10**(3): p. 269-82.
46. AKAR, G.C., et al., *Effects of surface-finishing protocols on the roughness, color change, and translucency of different ceramic systems*. J Prosthet Dent, 2014. **112**(2): p. 314-21.
47. UBAQQY, G., *Analyse texturale des états de surface vol 1*. 1990.
48. ROSEN, M., et al., *Surface roughness of aesthetic restorative materials: an in vitro comparison*. SADJ, 2001. **56**(7): p. 316-20.
49. LU, H., et al., *Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites*. J Esthet Restor Dent, 2005. **17**(2): p. 102-8; discussion 109.
50. BRACKETT, M.G., et al., *In vitro cytotoxic response to lithium disilicate dental ceramics*. Dent Mater, 2008. **24**(4): p. 450-6.
51. GREGOIRE G., P.P., MAGNE S., GUYONNET J-J. , *Biocompatibilité des matériaux utilisés en odontologie* Encycl. Méd. Chir., (Elsevier, Paris), Odontologie, 2008.
52. JONES, C.S., R.W. BILLINGTON, and G.J. PEARSON, *The in vivo perception of roughness of restorations*. Br Dent J, 2004. **196**(1): p. 42-5; discussion 31.
53. HEINTZE, S.D., M. FORJANIC, and V. ROUSSON, *Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro*. Dent Mater, 2006. **22**(2): p. 146-65.
54. LARSON, T., *Why do we polish? Part Two*. Northwest Dent, 2011. **90**(4): p. 31-8.
55. PIANET, P., *Bilan des connaissances concernant les inlay/only*, in Odontologie. 2005, Lyon.
56. BARHO, R., et al., *[Dental ceramic inlay fillings. Expanded indications for dental ceramic inlay fillings]*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 1993. **103**(8): p. 996-1001.
57. MAGNE, P. and U. BELSER, *Restaurations adhésives en céramique sur dent antérieures - approche biomimétique*. Quintessence international 2003.
58. O, G., *Principes et méthodes statistiques*. 2012.
59. MONTGOMERY, D., *Design and analysis of experiments*. 2005: Hamilton Printing.
60. SILVA, T.M., et al., *Polishing for glass ceramics: which protocol?* J Prosthodont Res, 2014. **58**(3): p. 160-70.
61. SASAHARA, R.M., et al., *Influence of the finishing technique on surface roughness of dental porcelains with different microstructures*. Oper Dent, 2006. **31**(5): p. 577-83.
62. GIORDANO, R., 2nd, *A comparison of all-ceramic restorative systems: Part 2*. Gen Dent, 2000. **48**(1): p. 38-40, 43-5.
63. SARAC, Y.S., et al., *Surface conditioning methods and polishing techniques effect on surface roughness of a feldspar ceramic*. Angle Orthod, 2007. **77**(4): p. 723-8.
64. BOTTINO, M.C., et al., *Polishing methods of an alumina-reinforced feldspar ceramic*. Braz Dent J, 2006. **17**(4): p. 285-9.

65. SARAC, D., et al., *The effects of porcelain polishing systems on the color and surface texture of feldspathic porcelain*. J Prosthet Dent, 2006. **96**(2): p. 122-8.
66. WANG, F., J.H. CHEN, and H. WANG, *Surface roughness of a novel dental porcelain following different polishing procedures*. Int J Prosthodont, 2009. **22**(2): p. 178-80.
67. OLIVEIRA-JUNIOR, O.B., et al., *Influence of polishing procedures on the surface roughness of dental ceramics made by different techniques*. Gen Dent, 2013. **61**(1): p. e4-8.
68. SARAC, D., et al., *Comparison of 3 polishing techniques for 2 all-ceramic materials*. Int J Prosthodont, 2007. **20**(5): p. 465-8.
69. MANJURAN, N.G. and T. SREELAL, *An in vitro study to identify a ceramic polishing protocol effecting smoothness superior to glazed surface*. J Indian Prosthodont Soc, 2014. **14**(3): p. 219-27.
70. SARIKAYA, I. and A.U. GULER, *Effects of different polishing techniques on the surface roughness of dental porcelains*. J Appl Oral Sci, 2010. **18**(1): p. 10-6.
71. STEINER, R., et al., *Adjusting dental ceramics: An in vitro evaluation of the ability of various ceramic polishing kits to mimic glazed dental ceramic surface*. J Prosthet Dent, 2015. **113**(6): p. 616-22.
72. BOAVENTURA, J.M., et al., *Effect finishing and polishing procedures on the surface roughness of IPS Empress 2 ceramic*. Acta Odontol Scand, 2013. **71**(3-4): p. 438-43.
73. KIM, I.J., et al., *Effect of surface topography on the color of dental porcelain*. J Mater Sci Mater Med, 2003. **14**(5): p. 405-9.