



HAL
open science

Étude de l'effet du vieillissement thermique sur l'étanchéité de deux ciments verres ionomères à haute viscosité et de deux types de préparation cavitaire fraise et laser

Victor Ribeiro

► **To cite this version:**

Victor Ribeiro. Étude de l'effet du vieillissement thermique sur l'étanchéité de deux ciments verres ionomères à haute viscosité et de deux types de préparation cavitaire fraise et laser. Médecine humaine et pathologie. 2024. dumas-04520773

HAL Id: dumas-04520773

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04520773v1>

Submitted on 25 Mar 2024

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

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

ÉTUDE DE L'EFFET DU VIEILLISSEMENT
THERMIQUE SUR L'ÉTANCHEITE DE DEUX
CIMENTS VERRES IONOMERES À HAUTE
VISCOSITÉ ET DE DEUX TYPES DE
PRÉPARATION CAVITAIRE FRAISE ET LASER

Année 2024

Thèse n° 42-57-24-09

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le 15/03/2024 Par

Monsieur Victor RIBEIRO

Né le 14/11/1989 à Nice

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

Examineurs :

Madame le Professeur
Madame le Professeur
Madame le Professeur
Monsieur le Docteur
Monsieur le Docteur

Laurence LUPI-PEGURIER
Nathalie BRULAT-BOUCHARD
Clara JOSEPH
Eric LEFORESTIER
Alexandre GIRODENGO

Président du jury
Directeur de thèse
Assesseur
Assesseur
Membre invité

CORPS ENSEIGNANT

MAJ : 01/11/23

56ème section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités

Mme CHARAVET Carole
Mme JOSEPH Clara

Maitre de Conférences des Universités

Mme AIEM TORT-ALVAREZ Elody
Mme MASUCCI Caterina

Maitre de Conférences des Universités Associé

Mme OUEISS Arlette

Chefs de Clinique Assistants

M. ECALLE Corentin
Mme LAMBERTS Johanna

Attachés

M. CAMIA Julien
Mme DEVILLE Clara
M. OROSCO Philippe

Sous-section 02 : PREVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités

Mme LUPI Laurence

Maitre de Conférences des Universités

Mme BORSA Leslie
Mme MERIGO Elisabetta

Chefs de Clinique Assistants

Mme PETTITI Marine

Attachés

M. BARBRY Ludovic
M. GLACHANT Didier
M. TOLILA Gérard

57ème section : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Sous-section 01 : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Professeur des Universités

Mme DRIDI Sophie Myriam
Mme PRECHEUR-SABLAYROLLES Isabelle
Mme VINCENT-BUGNAS Séverine

Maitre de Conférences des Universités

M. COCHAIS Patrice
Mme RAYBAUD Hélène
Mme VOHA Christine

Chefs de Clinique Assistants

M. AMELINE Clément
M. BONNICI Quentin
Mme DEMES Estelle
M. GAUDARD Mathias
Mme GUILLOU Estelle

Attachés

M. GEMMI Thomas
M. GUIGON Michael
M. NACACHE Stéphane

58ème section : REHABILITATION ORALE

Sous-section 01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur des Universités

Mme BERTRAND Marie-France
Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie
Mme EHRMANN Elodie
Mme LASSAUZAY Claire

Professeur des Universités Associé

M. DOUGHAN Bassel

Professeur des Universités Emérite

M. ROCCA Jean-Paul

Maitre de Conférences des Universités

M. CEINOS Romain
M. LAPLANCHE Olivier
M. LEFORESTIER Eric
M. MAILLE Gérald
Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie

Chefs de Clinique Assistants

Mme BERNABEU Marie
Mme BONNES Anais
M. CEPPO Franck
Mme CHAMBON Pauline
Mme DUBOIS Margaux
M. GIRODENGO Alexandre
Mme TEISSEIRE Lise

Attachés

M. ATTAL Bruno
M. PICOT Robin
M. PONCHET Yves
M. WAREMBOURG Philippe

REMERCIEMENT

À Madame le Professeur Laurence LUPI

*Docteur en Chirurgie-dentaire
Professeur des universités – Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section Prévention, Epidémiologie,
Economie de la santé, Odontologie légale
Doyenne de la Faculté d'Odontologie de Nice*

Je vous suis très reconnaissant d'avoir accepté de présider ce jury de thèse. C'est un honneur pour moi de soumettre mon travail à votre jugement. Vos nombreuses qualités tant sur le plan humain que professionnel forcent le respect. Durant toutes ces années, j'ai pu bénéficier de vos précieux conseils, votre bienveillance, votre écoute et votre rigueur scientifique. Veuillez trouver, au travers de cette thèse, toute ma reconnaissance et mon profond respect.

À Madame le Professeur Nathalie BRULAT-BOUCHARD

*Docteur en Chirurgie-dentaire
Professeur des universités – Praticien Hospitalier
Département de Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses,
Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
Chef adjointe du Pôle Odontologie - Hôpital Saint-Roch, CHU Nice
Professeur associé CEMEF - MINES ParisTech - CNRS - UMR7635*

Je vous remercie de m'avoir proposé ce sujet et d'avoir dirigé ce travail de thèse. Je souhaite vous exprimer ma gratitude pour la patience dont vous avez fait preuve dans son élaboration. Vous m'avez accordé votre temps, d'abord pour concevoir les protocoles, puis pour réaliser les manipulations au CEMEF et analyser nos nombreux résultats pour en tirer des conclusions. Enfin, vous avez corrigé cette thèse avec toute la rigueur scientifique qui vous est propre. Être à vos côtés durant ce travail de recherche fut très enrichissant pour moi. En espérant que cette thèse soit à la hauteur de vos attentes. Je vous présente mes plus sincères remerciements et ma plus haute considération.

À Madame le Professeur Clara JOSEPH-BEAUDIN

Docteur en Chirurgie-dentaire

Professeur des universités – Praticien Hospitalier

Département d'Odontologie pédiatrique et Orthopédie Dento-Faciale

Je vous remercie très sincèrement d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Ces vacances en pédodontie avec vous resteront gravées par votre gentillesse, votre passion pour votre métier et votre humour. Je vous remercie pour l'enseignement pratique que vous m'avez apporté, notamment lorsque nous avons partagé une garde un dimanche. Vous avez su nous transmettre votre savoir, votre expérience et votre rigueur. Je vous en suis profondément reconnaissant.

À Monsieur le Docteur Éric LEFORESTIER

Docteur en Chirurgie-dentaire

Maître de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier

Département de Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses,

Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

Je vous remercie d'accepter de siéger au sein de ce jury de thèse. Je vous suis très reconnaissant pour l'enseignement que vous m'avez transmis durant toutes ces années, en clinique comme à la faculté. Votre sérieux, votre implication et votre bienveillance ont grandement participé à rendre ces études passionnantes. Veuillez recevoir l'assurance de ma gratitude et l'expression de mes profonds remerciements.

À Monsieur le Docteur Alexandre GIRODENGO

Docteur en Chirurgie-dentaire

Assistant Hospitalo-universitaire

C'est un immense plaisir pour moi de vous avoir dans mon jury de thèse. Je suis honoré de vous avoir côtoyé durant ces études et d'avoir passé de bons moments à vos côtés, que ce soit en clinique comme à la faculté. Je vous remercie pour votre accompagnement mais aussi pour votre aide précieuse lorsque que vous m'avez accueilli dans votre cabinet pour me permettre de préparer mes échantillons et finir mes manipulations. Sans vous, cette thèse n'aurait pas pu voir le jour. Je vous exprime ma profonde gratitude pour votre présence durant toutes ces années tant sur le plan professionnel que personnel.

TABLES MATIERES

INTRODUCTION.....	9
I. LES CIMENTS VERRE IONOMÈRES (CVI)	11
1. Généralités.....	11
2. Compostions	11
3. Réaction de prise.....	12
4. Propriété d'étanchéité	14
II. LES MATÉRIAUX HYBRIDES	15
1. Généralités.....	15
2. Compostions	15
3. Réaction de prise.....	15
4. Propriétés.....	16
III. LE LASER Er : YAG	17
1. Principe de fonctionnement	17
2. Interaction avec les tissus dentaires	18
3. Aspect microscopique des tissus dentaires après irradiation.....	19
IV. THERMOCYCLAGE	20
V. OBJECTIFS DE L'ETUDE	21
MATERIELS ET METHODE.....	22
I. MATERIAUX	22
1. EQUIA FORTE™ HT Fil de GC™	23
2. SUREFIL ONE™ de DENTSPLY SIRONA™	23
3. FUJI TRIAGE™ de GC™.....	24
4. EQUIA FORTE COAT™.....	25
5. Vibreur	25
6. Polisseuse	26

7. Machine de thermocyclage.....	26
A. Principe	26
B. Machine	27
II. MÉTHODES	28
1. Récolte et conservation.....	28
2. Test de micro-infiltration.....	29
A. Préparation des cavités.....	29
B. Attribution aux groupes d'étude.....	31
C. Restauration des cavités	32
D. Finition et polissage	33
E. Thermocyclage.....	34
F. Isolation et technique d'infiltration.....	34
G. Préparation des échantillons par usure.....	35
H. Mesure de la micro-infiltration	36
3. Analyse statistique	38
ANALYSE DES RESULTATS	41
I. Comparaisons entre t_0 / t_{10000} et en fonction de la préparation cavitaire	42
1. Equia Forte™.....	42
2. Equia Forte™ Coat.....	44
3. Equia Forte™ Triage	47
4. Surefil One™.....	49
II. Comparaison d'Equia Forte™ par rapport Equia Forte Coat™ , Equia Forte Triage™ et au Surfil One™	54
1. T₀ Fraise.....	54
2. T₀ Laser	56
3. T₁₀₀₀₀ Fraise.....	58
4. T₁₀₀₀₀ Laser.....	60
DISCUSSION	64
CONCLUSION.....	70
BIBLIOGRAPHIE.....	71

TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Réaction de prise générale (13).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2 : Formation des polyacrylates de calcium et d'aluminium pendant la réaction de prise d'un ciment verre ionomère (15).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3 : Réaction de prise du CVI (16).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 4 : Réaction de prise du Surefil One™ (16).....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 5 : Spectre d'absorption de l'eau et de l'hydroxyapatite (23).....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 6 : Surface d'émail après irradiation au laser Er –YAG (MEB×2000) (23).....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 7 : Surface de dentine après irradiation au laser Er –YAG (MEB ×2000) (23).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 8 : EQUIA FORTE™ de GC™</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : SUREFIL ONE™</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10 : FUJI TRIAGE™ de GC™</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11 : EQUIA FORTE COAT™</i>	<i>25</i>
<i>Figure 12 : Vibreur BA Optima U-Mix™ de BA International™</i>	<i>25</i>
<i>Figure 13 : Polisseuse Mecatech 334™</i>	<i>26</i>
<i>Figure 14 : Machine de thermocyclage du C.E.M.E.F.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 15 : Cavité Fraise normalisée.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 16 : Vérification avec la jauge.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 17 : Paramètres du LASER.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 18 : Cavité préparée au Laser</i>	<i>30</i>
<i>Figure 19 : Répartition des groupes d'étude.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 20 : Répartition du nombre de cavités dans chaque groupe.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 21 : Groupe de dents Eq</i>	<i>32</i>
<i>Figure 22 : Observation au microscope des cavités restaurées par Equia Forte™</i>	<i>32</i>
<i>Figure 23 : Groupe de dents EqC.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 24 : Observation au microscope des cavités restaurées par Equia Forte™ + Coat™</i>	<i>32</i>
<i>Figure 25 : Groupe de dents EqT</i>	<i>33</i>
<i>Figure 26 : Observation au microscope des cavités restaurées par Equia Forte™ + Triage™</i>	<i>33</i>
<i>Figure 27 : Groupe de dents Sf.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 28 : Observation au microscope des cavités restaurées par Surefil One™</i>	<i>33</i>
<i>Figure 29 : Photos d'une restauration avant et après polissage.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 30 : Echantillons entre les deux bains de la machine de thermocyclage.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 31 : Dents placées dans le moule avant enrobage par la résine.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 32 : Echantillon poli</i>	<i>36</i>
<i>Figure 33 : Polisseuse</i>	<i>36</i>
<i>Figure 34 : Paramètres de polissage.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 35 : Image numérisée après examen au microscope d'un échantillon</i>	<i>36</i>
<i>Figure 36 : Exemples de pénétration de colorant pour chaque score</i>	<i>37</i>

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Score moyen d'étanchéité obtenu pour chaque groupe de l'étude	41
Graphique 2 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte	42
Graphique 3 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte Coat	44
Graphique 4 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte Triage	47
Graphique 5 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Surefil	49
Graphique 6 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T_0 Fraise	54
Graphique 7 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T_0 Fraise sous forme de box-plot	54
Graphique 8 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T_0 Laser	56
Graphique 9 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T_0 Laser sous forme de box-plot	56
Graphique 10 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T_{10000} Fraise	58
Graphique 11 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T_{10000} Fraise sous forme de box-plot	58
Graphique 12 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T_{10000} Laser	60
Graphique 13 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T_{10000} Laser sous forme de box-plot	60

INTRODUCTION

Les résines composites sont utilisées comme matériau de restauration direct en raison de leurs propriétés physiques, de leurs avantages esthétiques et de leurs performances cliniques. C'est aujourd'hui, le gold standard de la restauration micro-invasive. Mais, leur protocole de mise en œuvre est strict et nécessite la mise en place d'un champ opératoire parfaitement étanche. Il est aussi chronophage du fait de la polymérisation par incréments et du polissage minutieux indispensable pour supprimer la couche inhibée de l'extrême surface en contact avec l'oxygène.(1,2)

Les Ciments Verres Ionomères (CVI) sont aussi des matériaux de restaurations directes mais avec des propriétés mécaniques et esthétiques qui étaient moins performantes que celles des résines composites dans les années 80. Au fil des années, ses caractéristiques ont été améliorées. Ils offraient déjà différents avantages : adhésion intrinsèque aux tissus dentaires (adhésif non nécessaire), relargage de Fluor (action bactériostatique), biocompatibilité, relative tolérance à l'humidité, mise en œuvre simplifiée et un faible coût. (2-4)

Depuis les années 90, des biomatériaux de restaurations directes, combinant les résines composites et les CVI, ont été développés par les fabricants pour répondre à la demande des praticiens visant à améliorer les propriétés physiques et esthétiques mais aussi à optimiser la texture et la mise en œuvre. Ainsi, les propriétés mécaniques ont été améliorées et la quantité de relargage en fluor est renforcée notamment dans la dernière génération de CVI Haute Viscosité ou CVIHV. Ils constituent, en dentisterie restauratrice, une alternative thérapeutique au composite, lorsque ce dernier est contre-indiqué : absence d'émail cervical, mauvaise hygiène bucco-dentaire (risque carieux élevé), isolation imparfaite (impossibilité de poser la digue ou étanchéité imparfaite de celle-ci), temps réduit chez les patients peu coopérants (enfants, personnes âgées, handicapés). Ils sont particulièrement indiqués pour les restaurations postérieures sur dents temporaires. (4-6) La résine de recouvrement photopolymérisable sous forme de vernis (Equia Forte CoatTM) contribue également à améliorer leurs propriétés en les protégeant durant leur phase de maturation. (7,8)

Cependant les CVI possèdent des inconvénients. Ils restent sensibles au vieillissement thermique. En effet, sous l'action des variations de température auxquels ils sont soumis dans la cavité buccale, on observe une dégradation de leurs propriétés mécaniques et physico-chimiques. Ce phénomène limite leur durabilité et leur performance clinique en détériorant l'interface dent / matériau de restauration. L'infiltration par les fluides buccaux de cette interface est l'un des problèmes majeurs de la détérioration de ces restaurations. Elle est à l'origine de l'infiltration bactérienne, de caries secondaires et de dommages pulpaire. La carie secondaire étant la cause la plus importante de remplacement de ces restaurations.(9–11)

Depuis les années 2000, les préparations cavitaires et l'éviction du tissu carieux peuvent être réalisées avec un laser Er : YAG. L'intérêt de cette technique de préparation sans contact est d'offrir un état de surface différent des traitements mécaniques conventionnels ; exempt de boue dentinaire et avec des tubuli ouverts. Les avantages du laser Er : YAG sont de permettre une préparation moins douloureuse car sans pression, une capacité à éliminer préférentiellement les tissus pathologiques et une décontamination de la cavité préparée.(12)

À travers cette étude, nous comparons les conséquences du vieillissement thermique et de la préparation cavitaire Fraise et Laser sur les propriétés d'étanchéité *in vitro* des CVI Haute Viscosité au niveau de l'interface dent / matériaux.

I. LES CIMENTS VERRES IONOMÈRES (CVI)

1. Généralités

Les CVI sont des ciments polyalkénoates issus d'une réaction acido-basique, obtenue par le mélange de poudre et de liquide dans un milieu aqueux. Ils sont biocompatibles et possèdent deux avantages : ils libèrent des ions fluorés à action cariostatique et ont une adhésion intrinsèque aux tissus dentaires. Néanmoins, leur aptitude au polissage est faible et leurs propriétés mécaniques et esthétiques sont inférieures à celles des résines composites. Une bonne connaissance de leur protocole de mise en œuvre et des temps de manipulation permet d'optimiser l'efficacité clinique de ces matériaux. (4,13)

2. Compositions

- La poudre :

La poudre est composée de fluoro alumino silicate (FAS) de verre obtenu par cuisson d'alumine (Al_2O_3) et de silice (SiO_2) sous un flux de fluorure de calcium et de sodium, d'aluminium et de phosphate à 1050-1350°C. Après un refroidissement brutal, les fragments sont broyés jusqu'à l'obtention d'une poudre de granulométrie maximale de 40 μm . La taille des particules influence les propriétés optiques et l'aptitude au polissage de ces matériaux.(4,13)

- Le liquide :

Le liquide est une solution aqueuse d'acide polyalkénoïque à laquelle s'ajoutent, suivant les types de CVI, d'autres acides pour adapter la viscosité. L'acide tartrique est ajouté afin de diminuer la viscosité, augmenter le temps de manipulation et accélérer le durcissement. L'acide polyacrylique est rajouté dans les CVI de haute viscosité afin d'améliorer les propriétés mécaniques de flexion et de compression. La concentration en acide polyalkénoïque, de l'ordre de 40 à 50 %, est responsable de la gélification du système ionomère.(4,13)

3. Réaction de prise

Trois phases sont décrites dans la réaction de prise (14) :

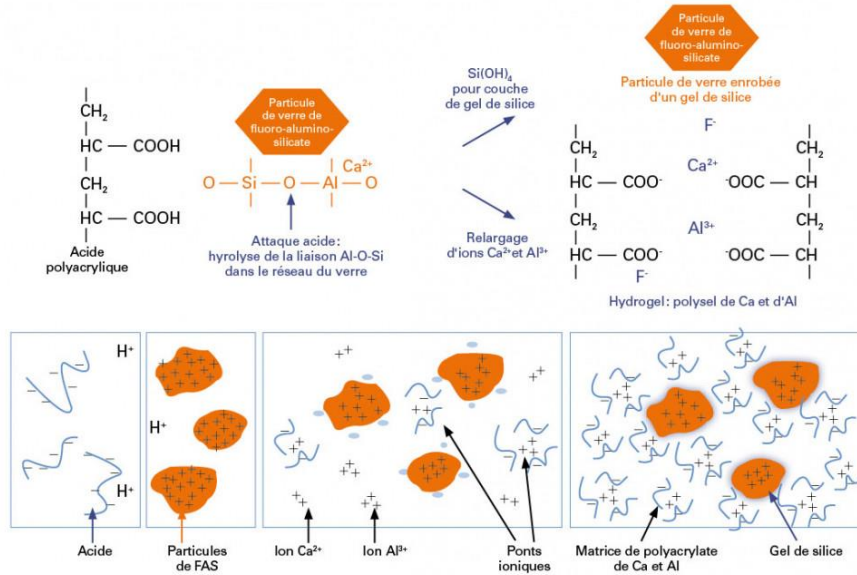


Figure 1: Réaction de prise générale (13)

- La phase de relargage ionique ou de dissolution :

Dès le début du mélange, la solution aqueuse de polyacide attaque les particules de FAS et dissout la surface du verre, libérant des ions F^- , Ca^{2+} et Al^{3+} . Il restera peu d'ions fluorures libres dans la poudre.

- La phase de l'hydrogel matriciel ou phase de gélification :

Les ions calcium réagissent avec les charges négatives du polyacide pour former des polyacrylates de calcium et ils réduisent ainsi la mobilité des chaînes de copolymères.

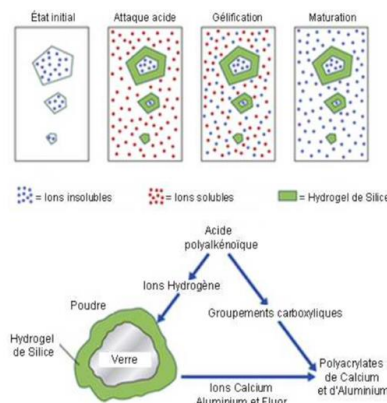
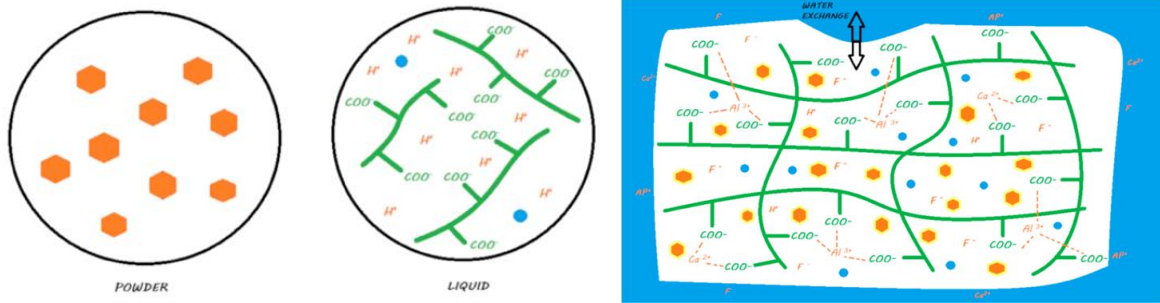


Figure 2 : Formation des polyacrylates de calcium et d'aluminium pendant la réaction de prise d'un ciment verre ionomère (15)

- La phase du polysel gélifié ou phase de durcissement :

Cette dernière phase peut continuer pendant plusieurs jours. La matrice termine sa maturation en relarguant des ions Al^{3+} . Le CVI prend sa forme finale, il devient un polysel entouré de particules de verre qui n'ont pas réagi.



LEGEND OF FIGURES	
	Resinous monomers / Resinous polymers
	Acidic monomers / Acidic polymers
	Photoactivator / Chemoactivator
	Water
	Silane-treated unreactive macrofiller / Silane-treated unreactive micro- or nanofiller
	FAS filler / Silane-treated FAS filler
	Acid activated FAS filler / Acid activated silane-treated FAS filler
	Silane-treated reactive "alkasite" filler / Acid activated silane-treated reactive "alkasite" filler
	Super-reactive FAS filler / Acid activated super-reactive FAS filler
	Ions / Ionic bonds

Figure 3 : Réaction de prise du CVI (16)

4. Propriété d'étanchéité

Un des objectifs de toute restauration est d'avoir une interface qui soit le plus étanche possible entre le matériau et les surfaces dentaires. Si elle est déficiente, le passage de fluide, de molécules, de bactéries entraîne à terme l'échec potentiel de la restauration.

On peut distinguer deux types d'étanchéités. L'étanchéité immédiate, obtenue lors de la mise en œuvre du matériau et l'étanchéité médiate (ou retardée), obtenue une fois le matériau mis en place dans la cavité buccale.(4)

L'étanchéité immédiate va dépendre essentiellement de l'adhésion du matériau de restauration à la surface et de ses variations dimensionnelles. Elle dépend également de la mise en œuvre du matériau, notamment la gestion des variations hydriques. Les CVI bénéficient d'une bonne étanchéité immédiate par leur capacité à adhérer aux tissus dentaires et par leur faible rétraction de prise. En effet, cette faible contraction de prise s'exerce au sein même du matériau et non à l'interface dent/matériau. Cependant, ce sont des matériaux sensibles aux variations hydriques, leur étanchéité sera bonne s'ils sont manipulés selon les protocoles recommandés.(4)

L'étanchéité médiate ou retardée se définit comme l'étanchéité caractérisant le matériau lorsque que celui-ci est soumis aux sollicitations physiques, chimiques et mécaniques de la cavité buccale. Elle est dépendante de plusieurs facteurs (4,17):

- D'une part, du coefficient de dilatation thermique (CDT), en effet, une trop grande différence entre le CDT du matériau de restauration et celui de la dent peut entraîner un choc thermique à l'interface, provoquant une perte d'étanchéité. Celui du CVI étant de $11.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, il est assez proche de celui de l'émail ($11,4.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) et de la dentine ($8,6.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Il existe donc peu de risques qu'il se crée un choc thermique pouvant nuire à l'étanchéité du CVI. De plus, les CVI totalement gélifiés (après 48 heures) résistent bien à l'hydrolyse hydrique et à l'hydrolyse liée aux acides faibles du milieu buccal.
- D'autre part, de la résistance à l'usure plus faible, qui contre indique leur utilisation dans les zones de sollicitations occlusales importantes. Des contraintes occlusales sur le matériau peuvent entraîner l'apparition de microfissures au sein de la matrice et accélérer sa détérioration.

II. LES MATÉRIAUX HYBRIDES

1. Généralités

Récemment, de nouveaux matériaux hybrides combinant les propriétés des CVI à celles des résines composites, ont vu le jour. Ils peuvent être placés en masse sur 4 à 5 mm d'épaisseur car la contrainte de polymérisation est réduite et leur réactivité à la polymérisation est élevée. L'utilisation d'adhésif n'est pas nécessaire, ce qui minimise le temps de contact avec les fluides buccaux.(18)

2. Compositions

Pour obtenir une adhérence suffisante, les monomères structurels sont modifiés par des groupes acides. Cependant, les polyacides n'ont pas de groupements polymérisables. Récemment, un système de polyacides modifiés à poids moléculaire élevé, l'acide polyacrylique modifié (appelé MOPOS en anglais), a été formulé et breveté.

Le MOPOS combine les propriétés auto-adhésives des polyacides classiques retrouvés dans les CVI et les capacités de réticulation des monomères contenus dans les résines composites.

Ce concept est commercialisé dans un matériau nommé le Surefil OneTM. Le fabricant décrit une combinaison entre la camphoroquinone, molécule photo-initiatrice, et le persulfate, agent permettant le durcissement chimique.(18)

3. Réaction de prise

Lors du mélange entre la poudre et le liquide, la réaction acido-basique est initiée, la prise du matériau commence et les charges du FAS sont attaquées. Un gel de silice est partiellement formé à la surface des charges de FAS. Les ions calcium et aluminium libérés forment des liaisons ioniques avec des ions carboxyliques du FAS. Des ions fluorures sont libérés. Une réaction de polymérisation se produit aussi, les monomères copolymérisent avec les charges de FAS silanées, les charges silanées n'ayant pas réagi et d'autres monomères. À la fin de la réaction, deux réseaux interconnectés sont obtenus grâce à l'acide polyacrylique modifié (MOPOS). Des ions calcium, aluminium et fluorures sont relargués dans la cavité orale.(16)

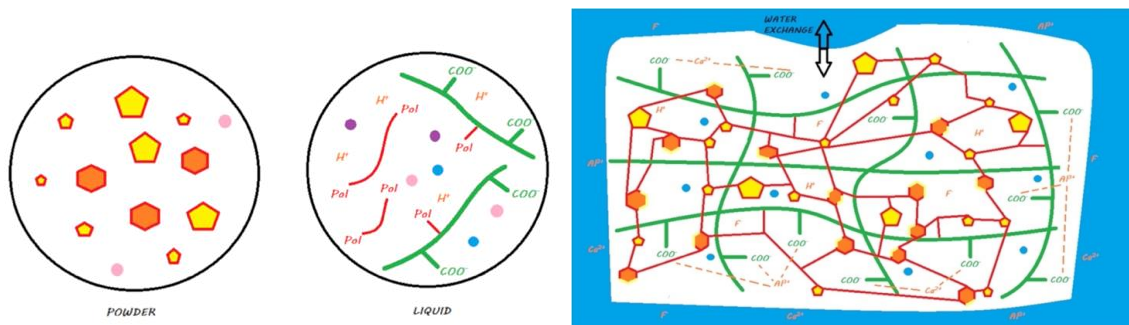


Figure 4 : Réaction de prise du Surefil One™ (16)

4. Propriétés

Un joint marginal étanche entre les surfaces dentaires et le matériau de restauration est essentiel. Il réduit les risques d'infiltration bactérienne et de percolations des fluides salivaires au niveau de l'interface matériau-tissus durs susceptibles d'entraîner des complications post-opératoires (hypersensibilités postopératoires, caries secondaires, décollement, complications pulpaires). Cela permet d'optimiser la conservation de la restauration. L'adhésion intrinsèque des CVI HV aux tissus dentaires améliore l'étanchéité immédiate et réduit les risques d'infiltration bactérienne. (10,13)

D'autres propriétés entrent en jeu au niveau du joint marginal, telles que leur faible contraction de prise et un coefficient de dilatation thermique similaire à celui des tissus dentaires. Ainsi, en cas de choc thermique, il n'y aura pas de rupture à l'interface et donc pas de perte d'étanchéité. Les résines composites possèdent, quant à elles, un CDT supérieur à celui des CVI HV et des CVIMAR. Ils auront donc plus tendance à s'écarter des parois cavitaires lors de l'ingestion de substances froides, ce qui diminue leur adhérence à la dent. Toutefois, l'étanchéité des restaurations composites semble meilleure que celle des CVI HV, mais seulement si elles sont réalisées en respectant scrupuleusement les protocoles de collage, sous champ opératoire étanche (digue).(11,13)

Les performances des CVI HV peuvent être optimisées grâce à un recouvrement par une résine nanochargée ou vernis (Coat). L'application d'un vernis photopolymérisable est recommandée pendant les premières heures de prise du matériau de restauration alors qu'il est le plus sensible aux variations hydriques. Ce vernis réduit la contamination par l'humidité et permet une stabilisation primaire améliorée du matériau pendant la phase de durcissement.(19) De plus, il

réduit les risques d'échec liés aux défauts de surface dues aux premières forces masticatoires en s'infiltrant à la surface du CVI, ce qui retarde la propagation des fissures et le protège contre l'usure par abrasion et les ruptures précoces. Ceci est particulièrement important pendant les premiers jours suivant la mise en place, et ce jusqu'à la maturation complète du matériau et l'atteinte de sa résistance maximale. Le Coat peut être utilisé pour protéger la restauration pendant au moins 24 heures. Cependant, il s'usera avec les effets de la mastication, du régime alimentaire et du brossage des dents au bout d'environ 6 mois. Une nouvelle application n'est pas nécessaire après cette période, car la maturation du matériau est terminée. Ainsi, ce recouvrement est indiqué afin d'augmenter l'étanchéité et la résistance à l'usure du matériau de restauration.(8,20,21)

III. LE LASER Er : YAG

1. Principe de fonctionnement

Le laser Er : YAG a une longueur d'onde de $2,94.10^3$ nm, il émet dans l'infrarouge moyen. Son milieu actif est composé d'un grenat d'yttrium et aluminium ($Y_3Al_5O_{12}$) dopé ions erbium (Er^{3+}). Le pompage est obtenu grâce à un flash lumineux très intense correspondant à une bande d'ions Er^{3+} incorporée au cristal.(12)

Son principal intérêt réside dans son mode de fonctionnement. En effet, le laser Er:YAG fonctionne selon un mode pulsé, permettant de faire varier la puissance émise au cours du temps. Cette notion permet d'introduire trois paramètres : l'énergie d'une impulsion, la fréquence d'émission des impulsions et la durée d'une impulsion.

Pour une efficacité optimale d'élimination des tissus dentaires, il est nécessaire de respecter une distance focale de 9 à 15 mm du tissu ciblé. Une distance focale supérieure à 15 mm ou inférieure à 9 mm se traduira inévitablement par une réduction de l'efficacité d'ablation. (22)

2. Interaction avec les tissus dentaires

Le laser Er:YAG, par la spécificité de sa longueur d'onde, peut être utilisé dans différents cas(22):

- L'exérèse de tumeurs bénignes, de tumeurs vasculaires ou encore de lésions pré-cancéreuses ;
- L'éviction carieuse et la préparation de cavités en dentisterie restauratrice ;
- Le coiffage pulpaire et pulpotomie : réalisés à l'aide d'un laser Er : YAG en gardant le spray air mais en enlevant le spray eau, permettant ainsi une hémostase correcte (300°C).

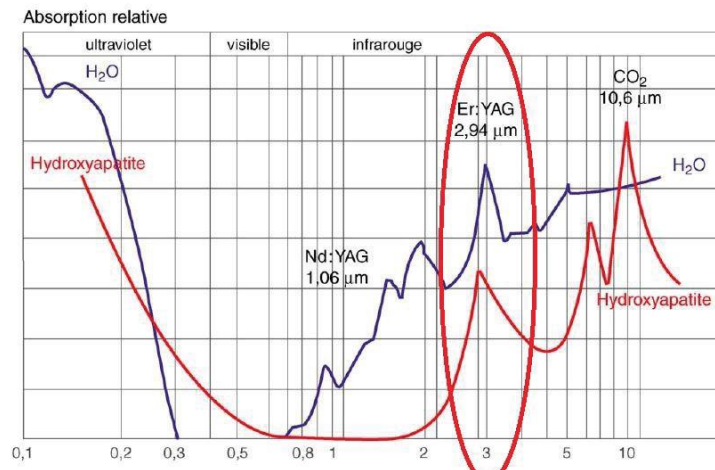


Figure 5 : Spectre d'absorption de l'eau et de l'hydroxyapatite (23)

L'intérêt de l'utilisation du laser Er : YAG en dentisterie restauratrice résulte dans la propriété d'absorption du rayonnement laser émis par deux composants principaux des tissus dentaires minéralisés : l'eau et l'hydroxyapatite. Le laser Er : YAG émet à une longueur d'onde de $2,94 \cdot 10^3$ nm, ce qui correspond au pic d'absorption de l'eau, ainsi le rayonnement est totalement absorbé par les molécules d'eau (H_2O) et partiellement absorbé par les molécules d'hydroxyapatite ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Cette différence d'absorption entre les deux composants explique pourquoi l'élimination des tissus dentinaires est plus rapide que celle des tissus amélaire.

L'émail et la dentine sont éliminés par un effet thermomécanique : après avoir absorbé le rayonnement émis par le laser Er : YAG, les molécules d'eau et d'hydroxyapatite sont « vaporisées » de manière continue, sous la forme de « microexplosions » audibles par le praticien et le patient.(23)

3. Aspect microscopique des tissus dentaires après irradiation

Les aspects des tissus dentinaires et amélaire après une irradiation au laser Er : YAG sont différents. Au niveau de l'émail, la surface est irrégulière, semblable à la surface amélaire après mordantage acide. L'ablation, par irradiation laser, se fait sans distinction entre substance intra-prismatique et substance inter-prismatique. Ainsi, la structure des prismes n'est pas identifiable.(24)

Cet aspect pseudo-mordancé de l'émail a conduit un certain nombre d'auteurs et de praticiens à considérer que l'utilisation du laser Er:YAG seul suffisait pour conditionner la surface amélaire avant de recevoir un collage, et que l'on pouvait donc s'affranchir du mordantage acide. Dans le but de vérifier cette hypothèse, des études ont été menées pour savoir comment obtenir la meilleure étanchéité possible. Les résultats de l'étude de Bertrand M. ont montré que les pertes d'étanchéité étaient nettement plus importantes lorsque l'on utilisait le laser seul que lorsque l'on traitait la surface avec un acide orthophosphorique (après préparation à la fraise ou irradiation laser). Le mordantage acide reste donc essentiel même sur les surfaces lasérisées amélaire.(25,26)

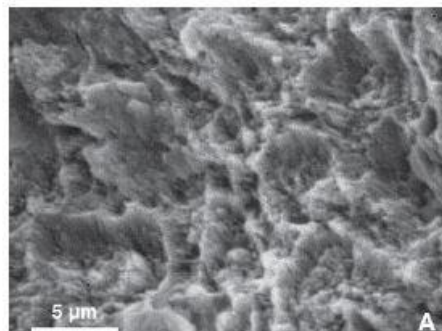


Figure 6 : Surface d'émail après irradiation au laser Er-YAG (MEB×2000) (23)

Au niveau de la dentine, les observations réalisées au microscope électronique à balayages (MEB) montrent une absence de boue dentinaire, des tubuli ouverts et des micro-irrégularités. La surface présente des irrégularités par élimination plus importante de la dentine intertubulaire, plus riche en eau. L'aspect global de la surface dentinaire est stratifié.

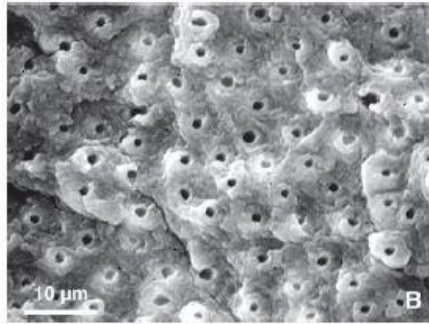


Figure 7 : Surface de dentine après irradiation au laser Er –YAG (MEB ×2000) (23)

IV. THERMOCYCLAGE

In vivo, les biomatériaux sont dégradés au cours du temps par des contraintes chimiques, mécaniques et thermiques. *In vitro*, les contraintes thermiques peuvent être reproduites par un vieillissement thermique accéléré grâce au thermocyclage. La technique consiste à immerger alternativement ces biomatériaux dans un bain d'eau distillée chaude puis froide selon un nombre de cycles préalablement défini, afin d'étudier leurs propriétés mécaniques dans un état de dégradation avancé.

L'augmentation de température crée un apport d'énergie, le matériau va alors se dilater et inversement lors du refroidissement. Ces variations de températures créent des chocs thermiques, fragilisant le matériau et l'interface avec la dent. A l'issue de ces contraintes thermiques, l'étanchéité des restaurations est testée puis comparée à celle de l'état initial. (27)

V. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude expérimentale *in vitro* a pour objectifs :

- D'évaluer l'effet du vieillissement thermique par thermocyclage sur les propriétés d'étanchéités de l'interface dent / CVI HV.
- D'évaluer les propriétés d'étanchéités selon deux types de préparation cavitaire (fraise et laser) restaurées par CVI HV.
- D'évaluer et de comparer l'étanchéité d'un système « bicouche » (association d'un CVI fluide et d'un CVI HV) et d'un système « monocouche » (CVI HV seul).

MATERIELS ET METHODE

I. MATERIAUX

Dans cette étude, plusieurs matériaux ont été testés : deux CVI HV associé ou non à un CVI fluide.

- CVI HV :
 - EQUIA Forte™ HT Fil** (GC™, Tokyo, Japan)
 - SUREFIL ONE™** (DENTSPLY SIRONA™, Pennsylvanie, États-Unis)

- CVI fluide :
 - FUJI TRIAGE™** (GC™, Tokyo, Japan)

- Vernis isolant :
 - EQUIA Forte COAT™** (GC™, Tokyo, Japan)

1. EQUIA FORTE™ HT Fil de GC™

Equia Forte™ HT est un CVI-HV commercialisé par la marque GC™, c'est la nouvelle génération du système Equia Forte™. Il se caractérise par son utilisation en masses et sa non-adhérence aux instruments de mise en place, lui conférant une maniabilité aisée et la possibilité d'être foulé. Equia Forte™ HT est indiqué pour les restaurations postérieures de Classe I, Classe II, Classe V, les restaurations des surfaces radiculaires, les restaurations intermédiaires en fond de cavité et les reconstitutions de moignons. Ce CVI est chémo-polymérisable. Il est conditionné sous forme de capsule de 0,14 ml avec un ratio poudre/liquide (g/g) de 0,40 / 0,13. Son temps de mélange est de 10 secondes, son temps d'extrusion de la capsule est de 10 secondes, son temps de travail est de 1 minutes 30 secondes, et son temps de prise est de 2 minutes 30 secondes.(28)



Figure 8 : EQUIA FORTE™ de GC™

2. SUREFIL ONE™ de DENTSPLY SIRONA™

Surefil One™ est décrit comme un CVI hybride auto-adhésif à prise duale de la marque DENTSPLY SIRONA™. Du fait de la composition de sa matrice à base de verre et d'acide polyacrylique, il se rapproche plus des ciments verres ionomères que des résines composites qui sont composées de Bis-GMA. On peut s'en servir comme résine composite photopolymérisable ou comme un CVI chémo-polymérisable. Il est utilisé ici pour une mise en œuvre rapide et simplifiée par obturation en un seul incrément. Il est indiqué dans les cas cliniques problématiques à cause des difficultés techniques liées à l'isolation du champ opératoire ou avec des patients peu coopérants. La procédure de restauration avec Surefil One™ minimise le temps pendant lequel

les fluides buccaux pourraient compromettre la restauration.

Selon le fabricant, il possède des propriétés mécaniques proches de celle d'une résine composite et il est indiqué pour les restaurations de Classe I à V. (2) Il est conditionné sous forme de capsule à mélange pré-dosée pour une application intraorale directe avec une quantité minimale applicable de 0,3 g. Son temps de mélange est de 10 secondes, son temps de travail est de 2 min et son temps de prise est de 6 minutes.(29)



Figure 9 : SUREFIL ONE™

3. FUJI TRIAGE™ de GC™

Fuji Triage™ est un CVI fluide conventionnel de la marque GC indiqué pour le scellement des puits et des fissures, les restaurations coronaires provisoires et cervicales. Il est chémo-polymérisable et conditionné sous forme de poudre et liquide ou en capsule. Dans cette étude, le conditionnement en capsule est utilisé. Son ratio poudre/liquide (g/g) est de 0,30/0,15, donnant une quantité de 0,12 ml de matériau par capsule. Son temps de mélange est de 10 secondes, son temps de travail est de 1 minute 40 secondes et son temps de prise est de 2 minutes 30 secondes.(30)



Figure 10 : FUJI TRIAGE™ de GC™

4. EQUIA FORTE COAT™

Equia Forte Coat™ est un agent de recouvrement en résine photopolymérisable hautement chargé, appliqué sur la surface de la restauration. Cette résine auto-adhésive agit comme un vernis améliorant dans le même temps la translucidité, l'esthétique, l'étanchéité marginale et la résistance à l'abrasion. Cet agent de recouvrement est nano rempli, hydrophile et de faible viscosité. L'infiltration et la répartition de nano charges dans le vernis permettent de protéger la restauration et l'interface dent / matériau.(28)



Figure 11 : EQUIA FORTE COAT™

5. Vibreur

Le vibreur utilisé pour cette étude est le BA Optima U-Mix™ de BA International™. Il est utilisé pour mélanger les composants poudre et liquide contenus dans les capsules de CVI. Il est réglé sur 10 secondes à une vitesse de 4 800 oscillations par minute.(31)



Figure 12 : Vibreur BA Optima U-Mix™ de BA International™

6. Polisseuse

Afin que les échantillons obtiennent des états de surface les plus nets possibles et que l'étape de polissage soit reproductible, nous avons utilisé la polisseuse Mecatech 334TM de la marque PRESI®. Les échantillons sont placés dans la polisseuse Mecatech 334TM et leur surface est polie pendant 60 secondes avec une granulométrie de 240, 320, puis 600 à chaque fois à 100 rotations par minute pour le module supérieur et 200 rpm pour le module inférieur, une force d'appui de 20 N (=2 DaN) et avec un débit continu d'eau.(32)



Figure 13 : Polisseuse Mecatech 334TM

7. Machine de thermocyclage

A. Principe

Parmi les principales contraintes que doivent subir les matériaux de restauration on note les contraintes mécaniques, l'environnement humide salivaire et les variations thermiques. Le thermocyclage est une technique de vieillissement artificiel par simulation des variations de température de la cavité buccale provoquées par l'alimentation et la respiration quotidienne. Elle consiste à immerger des échantillons de matériaux dentaires de façon cyclique d'un bain d'eau distillée chaud à un bain froid pendant un nombre de cycles donné. Cette action a pour effet de dilater le matériau étudié lorsqu'il est plongé dans l'eau chaude et de le contracter lorsqu'il est dans le bain froid.(27,33,34)

Le thermocyclage est utilisé pour contraindre l'interface des matériaux aux tissus dentaires. Il provoque un stress à l'interface par des contractions et des dilatations volumiques des tissus

dentaires. Ceci est dû à des coefficients de dilatation thermiques différents des matériaux de restauration. Une grande différence de coefficients thermiques entraînera une contrainte plus importante et la propagation de fissures dans l'interface.(35,36)

On peut également tester les échantillons de matériaux seuls. Les variations de températures de cet ordre peuvent provoquer la propagation de fissures au sein même d'un matériau, à l'interface entre la matrice et les charges, dû au différentiel de coefficients de dilatation thermique de la matrice et des charges. La structure des CVI HV, s'approchant d'une architecture « composite » avec des charges de FAS enrobées d'une matrice de sels polyacrylates, interroge sur l'effet du vieillissement par thermocyclage sur leurs propriétés mécaniques.(37) Cette technique permet d'accélérer le vieillissement naturel d'échantillons *in vitro* afin d'éviter de condenser des protocoles de plusieurs mois en quelques jours.

La norme ISO/TS 11405:2015 sur l'adhésion aux structures dentaires recommande des températures de 5°C pour le bain froid et 55°C pour le bain chaud, avec un temps d'immersion de 20 secondes pour chacun et un temps de transfert de 5 à 10 secondes entre les bains. Cette norme propose également 500 cycles thermiques (un peu plus de 8h) équivalent à un vieillissement de 18 jours.(38)

Gale M. souligne dans sa revue de la littérature l'équivalence entre un thermocyclage de 10 000 cycles et 1 an de vieillissement *in vivo*. Cela correspond à 9 cycles par repas, soit 27 par jour. Pour cette étude, nous avons choisi comme Gale d'utiliser la base de 10 000 cycles pour les spécimens vieillis, correspondant à une année de vieillissement *in vivo*.(27)

B. Machine

La machine à thermocyclage a été conçue au Centre de Mise en Forme des Matériaux (C.E.M.E.F.) de l'école des Mines de Paris situé à Sophia Antipolis (06). Cette machine est constituée de deux cuves en acier inoxydable de 4,4 l et d'un bras rotatif central portant un panier ouvert qui contiendra les échantillons à tester. La cuve à 5°C est refroidie par un bras réfrigérant et un thermostat chauffant régule la cuve à 55°C, permettant un contrôle de la température à 0,05°C près. Le moteur du bras rotatif est programmé à l'aide d'un logiciel informatique permettant de régler tous les paramètres (temps d'immersion, temps de voyage, températures, nombre de cycles). Les composants ont été fournis par l'entreprise Huber™.(37)

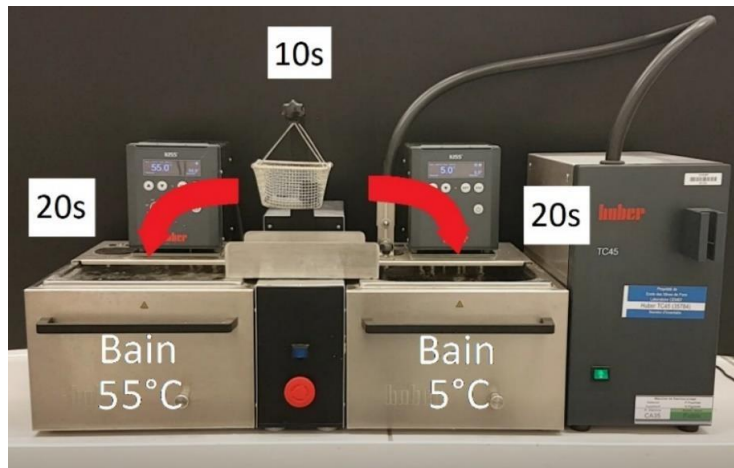


Figure 14 : Machine de thermocyclage du C.E.M.E.F.

II. MÉTHODES

Notre étude expérimentale est réalisée *in vitro* et s'appuie sur la norme ISO/TS 11405:2015.(38)

1. Récolte et conservation

Collecte des dents :

Des molaires humaines maxillaires ou mandibulaires sont récupérées dans le service du Pôle d'Odontologie du CHU de Nice. Les dents peuvent être utilisées dans un délai de 6 mois après leur extraction. Les résidus de plaque et de tartre sont éliminés aux ultrasons.

Critères d'inclusion :

Molaires saines matures.

Critères d'exclusion :

Dents présentant des :

- Restaurations
- Fractures
- Lésions carieuses
- Anomalies structurelles

Stockage :

Les dents sont soigneusement débarrassées des tissus adhérents sous l'eau courante dès que possible après l'extraction. Ensuite, elles sont placées dans une solution aqueuse à 2 % de Chlorhexidine pendant 24h puis dans de l'eau distillée (ISO 3696, qualité 3) à une température de 4 ± 4 °C, pour ne pas laisser les dents se déshydrater. Le milieu de stockage a été renouvelé au moins une fois tous les 2 mois.

2. Test de micro-infiltration

A. Préparation des cavités

Les dents sont placées dans de l'eau distillée à (23 ± 2) °C pendant au moins 12 heures avant leur utilisation.

1) Cavités fraisées

Nous avons normalisé la préparation grâce à une pénétration contrôlée. Les cavités sont préparées en utilisant une fraise cylindro-conique diamantée bague verte (Komet 845KR025), puis bague rouge (Komet 8845KR025) sur la face vestibulaire des molaires sous spray. Les parois de la cavité sont nettoyées avec un Piezo sous spray en fin de préparation pour enlever la boue dentinaire ainsi que les prismes d'émail non soutenus.

La cavité réalisée est un rectangle de 3 mm par 2 mm, avec une profondeur de 2mm (au moins 1mm dans la dentine). La berge apicale est placée au niveau du cément. Les fraises sont utilisées pour 5 cavités. Toutes les préparations sont réalisées par le même opérateur. Une jauge a été utilisée pour vérifier l'uniformité de toutes les cavités.



Figure 15 : Cavité Fraise normalisée



Figure 16 : Vérification avec la jauge

Un marquage à la fraise est réalisé au niveau de la racine pour identifier la face sur laquelle a été réalisée la cavité Fraisé. Il est nécessaire d'aligner au maximum les cavités vestibulaires et linguales pour optimiser la lecture des résultats.

2) Cavités LASER

Les cavités Laser sont préparées avec le LASER FOTONA™ LightWalker source Er : YAG avec une puissance de 9W sur la face linguale des molaires sous spray. Les parois de la cavité sont nettoyées avec un Piezo sous spray en fin de préparation pour enlever les prismes d'émail non soutenus.



Figure 17 : Paramètres du LASER

La cavité réalisée est un rectangle de 3 mm par 2 mm, avec une profondeur de 2mm (au moins 1mm dans la dentine). La berge apicale est placée au niveau du ciment. Toutes les préparations sont réalisées par le même opérateur. Une jauge a été utilisée pour vérifier l'uniformité de toutes les cavités.



Figure 18 : Cavité préparée au Laser

Il est nécessaire d'aligner au maximum les cavités vestibulaires et linguales pour optimiser la lecture des résultats.

B. Attribution aux groupes d'étude

Après préparation des cavités, les dents sont assignées aléatoirement à un groupe d'étude : EQUIA ou SUREFIL.

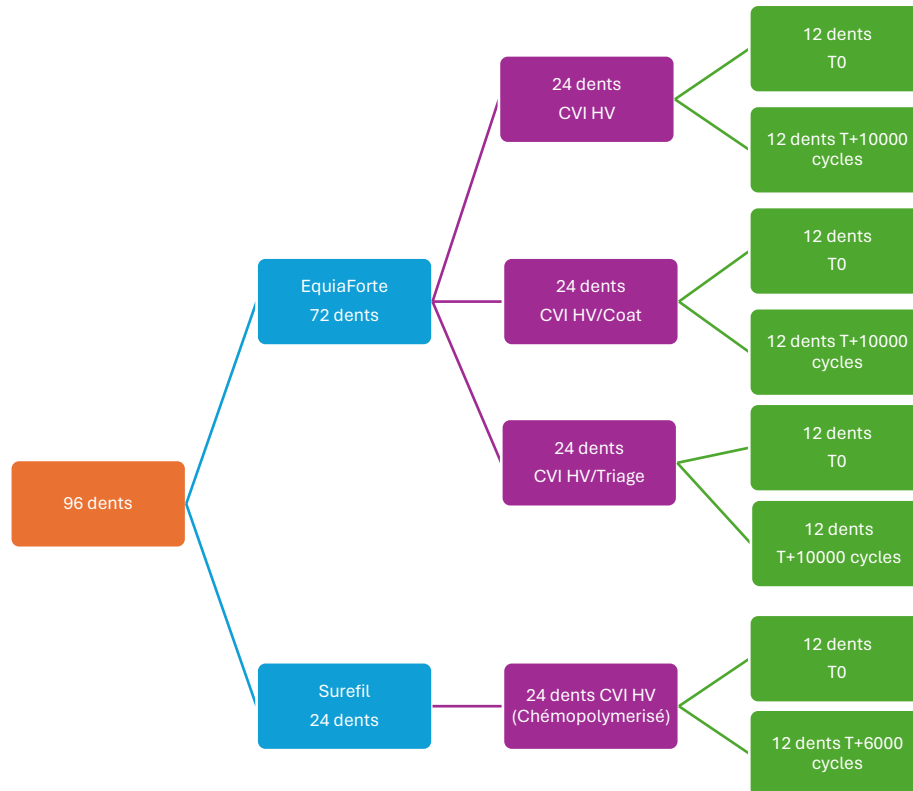


Figure 19 : Répartition des groupes d'étude

	Cavité Fraise	Cavité Laser
EQUIA FORTE	24	24
EQUIA FORTE COAT	24	24
EQUIA FORTE TRIAGE	24	24
SUREFIL ONE (chémopolymerisé)	24	24

Figure 20 : Répartition du nombre de cavités dans chaque groupe

- Groupe EqT (**EQUIA FORTE™ HT Fil + FUJI TRIAGE™**)

Tout d'abord, le CVI fluide (Triage™) est placé en une fois dans la cavité. Puis le CVI HV est placé en une fois dans la cavité dans les 10 secondes. L'opérateur foule le CVI HV dans la cavité et élimine les excès. La mise en forme du matériau est stoppée à 1mn 30.(28,30)



Figure 25 : Groupe de dents EqT



Figure 26 : Observation au microscope des cavités restaurées par Equia Forte™ + Triage™

- Groupe Sf (**SUREFIL ONE™ chémopolymérisé**)

Le CVI HV est placé en une fois dans la cavité dans les 10 secondes. L'opérateur foule le CVI HV dans la cavité et élimine les excès. La mise en forme du matériau est stoppée à 2 mn.(29)



Figure 27 : Groupe de dents Sf



Figure 28 : Observation au microscope des cavités restaurées par Surefil One™

D. Finition et polissage

Ils sont réalisés avec une fraise diamantée extrafine bague rouge (Komet 8845KR025) sous spray dans un premier temps ; puis bague jaune (Komet 845KREF025) ; et ensuite des disques extra-fins Soflex (Pop-on 3M 2382M) au bout de 24h. Les dents sont placées dans l'eau à $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

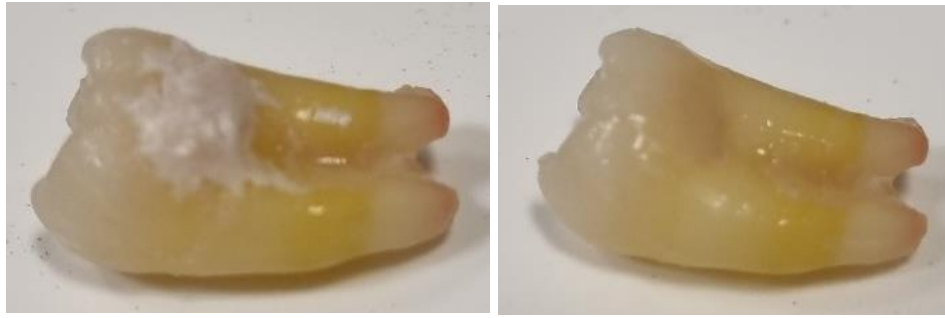


Figure 29 : Photos d'une restauration avant et après polissage

E. Thermocyclage

La procédure de thermocyclage débute après 24 h de stockage à $23 \pm 2^\circ\text{C}$, comme essai de vieillissement accéléré. Après avoir réalisé la restauration, les échantillons de la catégorie T_{10000} sont soumis à 10 000 cycles de thermocyclage afin de les vieillir.

Les dents sont placées dans le panier de la machine de thermocyclage : à $5^\circ\pm 4$ et à $55^\circ\pm 4$, l'immersion dans chaque bain dure 20 s et le temps de transfert entre chaque bain est de 10 secondes. Le logiciel est programmé pour une durée de 10 000 cycles, équivalant à 167 h soit 6,9 jours.(27)



Figure 30 : Echantillons entre les deux bains de la machine de thermocyclage

F. Isolation et technique d'infiltration

Pour garantir une meilleure étanchéité des restaurations et pour que les résultats ne soient pas faussés par le manque d'étanchéité au niveau d'autres zones, nous avons mis en place un vernis. Les dents sont recouvertes de deux couches vernis V33 permettant l'obturation des apex et des faces occlusales, sauf au niveau des obturations : 1 à 2 mm autour des cavités restaurées. Il

permet de faire l'étanchéité sur la dent à l'exception de la restauration dont on testera l'étanchéité. Après la mise en place du vernis, les dents sont trempées dans l'eau.

Pour infiltrer les restaurations, nous avons placé les dents pendant 24 heures dans une solution aqueuse de bleu de méthylène à 2%. Après 24 heures, elles sont rincées à l'eau.

G. Préparation des échantillons par usure

Les dents sont placées sur la face mésio-distale dans un moule cylindrique sur une surface de travail horizontale. Le diamètre du moule est de 25mm et la hauteur de 30mm. Une pince spécifique est utilisée si nécessaire pour assurer le bon maintien de la dent. Les cavités vestibulaires et linguales sont alignées sur leurs hauteurs.



Figure 31 : Dents placées dans le moule avant enrobage par la résine

Une résine autopolymérisable à prise lente sans exothermie de prise (PRESI) est versée dans le moule. Les échantillons (dents enrobées dans la résine) sont retirés dès que possible après la prise du milieu d'enrobage et immédiatement placée dans l'eau (ISO 3696, qualité 3) à une température de 4 ± 4 °C.

Avant d'être observées, les dents sont préparées dans le sens de la longueur : « coupes » longitudinales vestibulo-linguales, par polissage successif, de chaque côté de la bissectrice de la cavité avec une polisseuse automatique (Mecatech 334 PRESI) à l'aide de disques abrasifs rotatifs à vitesse lente, sous irrigation d'eau permanente. La surface est polie afin que les échantillons aient un état de surface lisse et similaire. Ils sont polis avec une granulométrie croissante de 240, 320, 600 et 1200 successivement, par cycle de 60 secondes pour chaque granulométrie. La vitesse de rotation est de 200 RPM avec une force de 2 DaN. Après le polissage, les dents enrobées sont rincées à l'eau.



Figure 33 : Polisseuse



Figure 34 : Paramètres de polissage



Figure 32 : Echantillon poli

H. Mesure de la micro-infiltration

L'examen au microscope sous un grossissement de $\times 10$ permet de déceler la pénétration du traceur le long des parois de la cavité pour chaque échantillon.

La mesure de la profondeur de pénétration du colorant et la saisie d'images numérisées a été réalisée au moyen d'une caméra, d'un objectif macro 50mm et d'un logiciel d'analyses d'images (Archimed).

Grâce au logiciel, nous avons pu réaliser des captures d'image de chaque dent. Nous avons réalisé deux captures pour chaque dent, une capture de vue d'ensemble et une capture de la zone à étudier. Sur un agrandissement photographique, une échelle a été définie et le logiciel associé nous a permis de mesurer la profondeur de pénétration du colorant à l'interface dent-matériau.

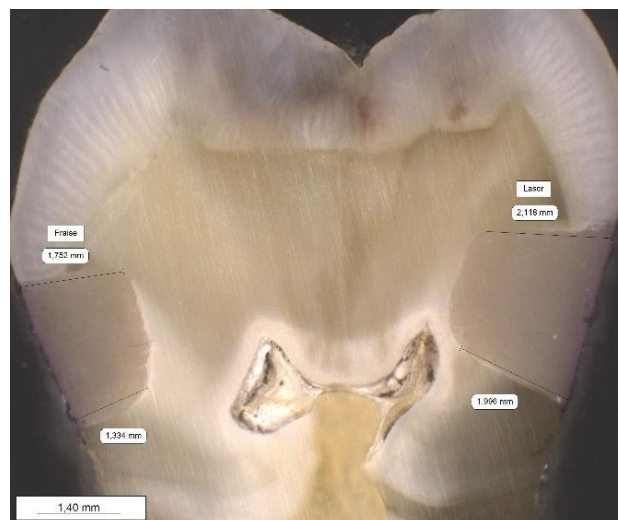
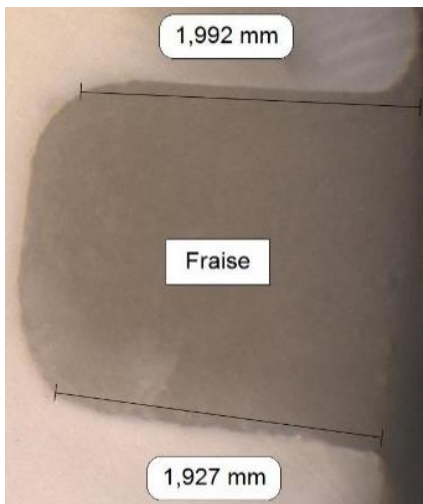


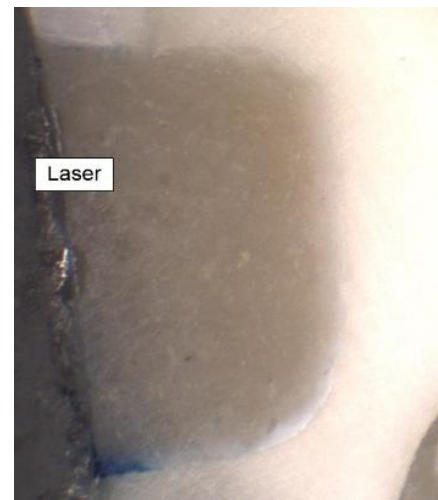
Figure 35 : Image numérisée après examen au microscope d'un échantillon

Le système de notation suivant a été appliqué (38) :

- **Score 0** : Aucune infiltration (a)
- **Score 1** : Infiltration inférieure à la moitié de la paroi de la cavité (b)
- **Score 2** : Infiltration supérieure à la moitié de la paroi de la cavité, mais à l'exclusion du plancher pulpaire de la cavité (c)
- **Score 3** : Infiltration y compris dans le plancher pulpaire de la cavité (d)



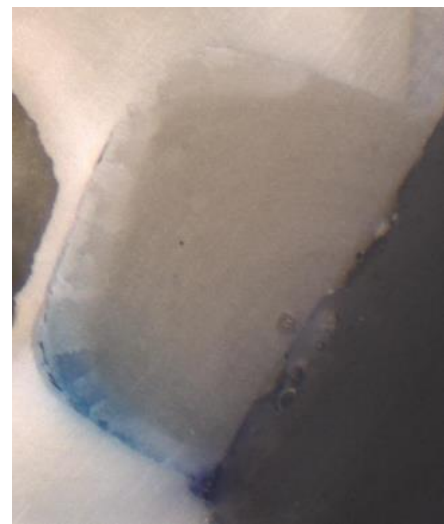
Score 0 (a)



Score 1 (b)



Score 2 (c)



Score 3 (d)

Figure 36 : Exemples de pénétration de colorant pour chaque score

Pour chaque cavité, **plus le score est élevé**, plus la micro-infiltration est importante et ainsi plus l'**étanchéité est mauvaise**.

3. Analyse statistique

Les données recueillies se présentent sous la forme de scores, ainsi des tests non paramétriques sont utilisés pour comparer les matériaux.

L'analyse statistique est faite à partir des données d'infiltration récoltées et retranscrites lors des essais dans un tableau Excel de résultats, grâce au logiciel XLSTAT.

Cette analyse consiste à comparer différents groupes entre eux (groupe A / groupe B) :

Comparaison des valeurs d'infiltration à t_0 et t_{10000} pour chaque matériau :

- Pour les cavités « Fraise » : $[Eq_0 / Eq_{10000}] ; [EqC_0 / EqC_{10000}] ; [EqT_0 / EqT_{10000}] ; [Sf_0 / Sf_{10000}]$
- Pour les cavités « Laser » : $[Eq_0 / Eq_{10000}] ; [EqC_0 / EqC_{10000}] ; [EqT_0 / EqT_{10000}] ; [Sf_0 / Sf_{10000}]$

Comparaison des valeurs d'infiltration en fonction de la préparation cavitaire (Fraise / Laser) :

- A t_0 : $[Eq \text{ Fraise} / Eq \text{ Laser}] ; [EqC \text{ Fraise} / EqC \text{ Laser}] ; [EqT \text{ Fraise} / EqT \text{ Laser}] ; [Sf \text{ Fraise} / Sf \text{ Laser}]$
- A t_{10000} : $[Eq \text{ Fraise} / Eq \text{ Laser}] ; [EqC \text{ Fraise} / EqC \text{ Laser}] ; [EqT \text{ Fraise} / EqT \text{ Laser}] ; [Sf \text{ Fraise} / Sf \text{ Laser}]$

Comparaison des valeurs d'infiltration du groupe EQUIA Forte™ HT Fil avec les autres :

- Pour les cavités Fraise : $[Eq_0 / EqC_0] ; [Eq_{10000} / EqC_{10000}]$
- Pour les cavités Laser : $[Eq_0 / EqC_0] ; [Eq_{10000} / EqC_{10000}]$

COAT™

- Pour les cavités Fraise : $[Eq_0 / EqT_0]$; $[Eq_{10000} / EqT_{10000}]$
- Pour les cavités Laser : $[Eq_0 / EqT_0]$; $[Eq_{10000} / EqT_{10000}]$

TRIAGE™

- Pour les cavités Fraise : $[Eq_0 / Sf_0]$; $[Eq_{10000} / Sf_{10000}]$
- Pour les cavités Laser : $[Eq_0 / Sf_0]$; $[Eq_{10000} / Sf_{10000}]$

SUREFIL™

Choix du test statistique

Après avoir fait un test de normalité, nous concluons que les scores d'infiltration ne respectent pas une distribution normale (distribution Gaussienne) dans chaque groupe.(39) Nous choisissons donc d'utiliser un test non-paramétrique : le test de Wilcoxon-Mann-Whitney, qui est une combinaison des tests de Wilcoxon et de Mann-Whitney. Il permet de tester l'hypothèse selon laquelle les médianes de deux groupes sont considérées comme proches (H_0), et dont la différence n'est pas statistiquement significative. Il est utilisé pour de petits échantillons ($n_A < 30$ et $n_B < 30$) indépendants et dont les différences possibles entre eux ne concernent que la position.(40)

Hypothèses et seuil significatif

Nous posons respectivement $A(X)$ et $B(X)$ la fonction de répartition du groupe A et du groupe B :

- Hypothèse nulle : $H_0 =$ Il n'existe pas de différence significative entre les valeurs d'infiltration du groupe A et celles du groupe B.

$$H_0 : A(X) = B(X)$$

- Hypothèse alternative : $H_1 =$ Il existe une différence significative entre les valeurs d'infiltration du groupe A et celles du groupe B.

$$H_1 : A(X) > B(X)$$

$$\text{ou } A(X) < B(X)$$

Le seuil significatif α est posé à 5% ($\alpha = 0,05$) et est procédé de façon bilatérale.

Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney repose sur la notion de rangs des valeurs.(41) Il consiste à :

- 1) Ordonner les valeurs des groupes A ($x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$) et B ($y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$) de façon croissante.
- 2) Attribuer un rang à chaque valeur (r_i). Si des valeurs sont ex-aequo, elles porteront la moyenne de ces rangs.
- 3) Calculer la somme des rangs obtenus pour les valeurs du groupe A (W_A) et pour celles du groupe B (W_B).

$$W = \sum_{i=1}^n r_i$$

- 4) Calculer la valeur $U_{\text{observé}}$ pour le groupe A et $U_{\text{observé}}$ pour le groupe B. Le plus petit $U_{\text{observé}}$ est comparée à un U_{critique} issu d'un tableau de Mann et Whitney pour valider ou rejeter l'hypothèse nulle H_0 (avec n = nombre de valeurs dans l'échantillon).

$$U_{\text{observé}} = W - \frac{(n+1)}{2}$$

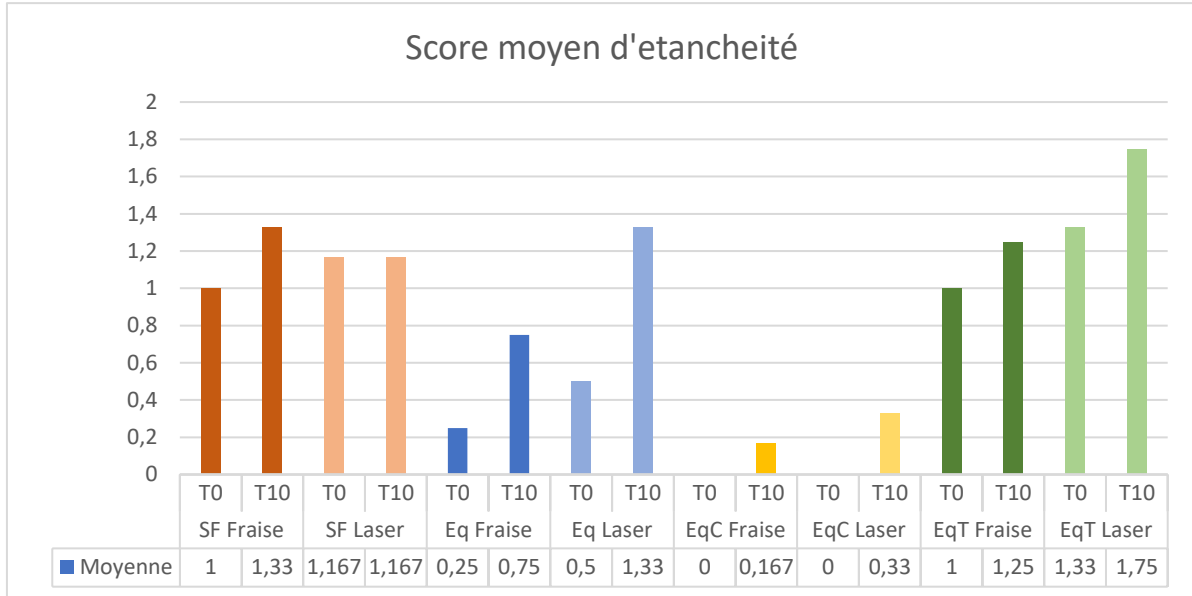
Si le plus petit $U_{\text{observé}}$ est supérieur au U_{critique} alors H_0 est accepté.

Si le plus petit $U_{\text{observé}}$ est inférieur ou égal au U_{critique} alors H_1 est accepté et H_0 est rejeté.

Cette méthode est utilisée pour tous les couples comparés ci-dessus.

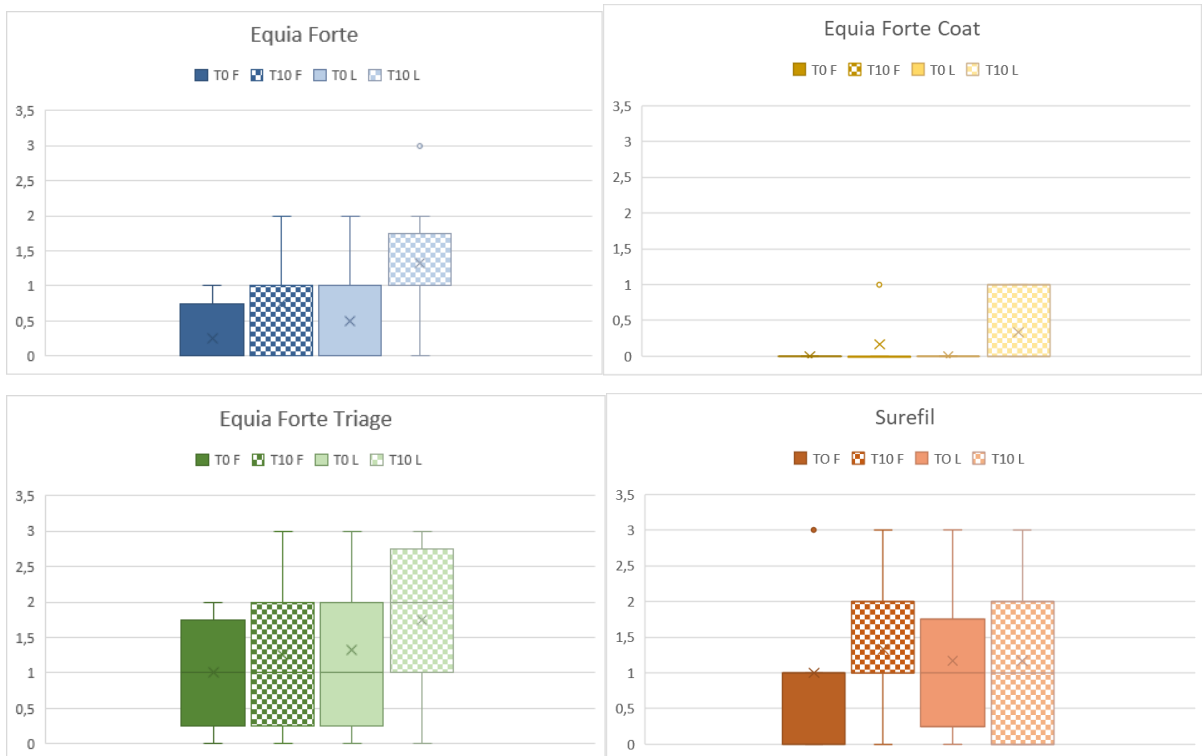
ANALYSE DES RESULTATS

Les scores d'étanchéité obtenus sont reportés dans un tableau Excel, à partir desquels sont calculés les moyennes.



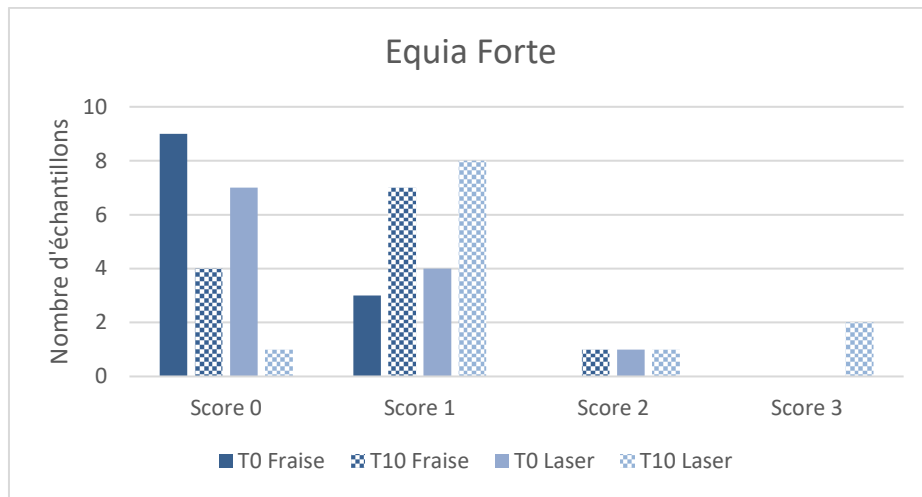
Graphique 1 : Score moyen d'étanchéité obtenu pour chaque groupe de l'étude

Avec les résultats obtenus, un graphique sous forme de *box-plot* est construit à partir des 48 scores d'étanchéité obtenues pour chaque matériau. Les mêmes couleurs sont représentées pour chaque matériau étudié (Fraise ou Laser) avec la catégorie t_0 en couleur pleine et t_{10000} quadrillé.



I. Comparaisons entre t_0 / t_{10000} et en fonction de la préparation cavitaire

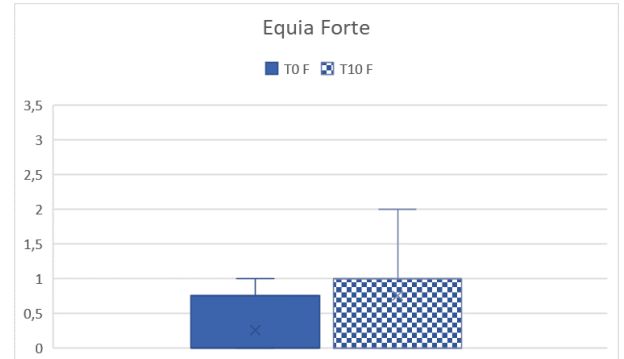
1. Equia Forte™



Graphique 2 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte

- Equia Forte™ Fraise (T_0 / T_{10000})

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Fraise est de 0,250 à t_0 (sans vieillissement) et de 0,750 à t_{10000} (après 10000 cycles thermiques). L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t_0 comparé au groupe t_{10000} comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

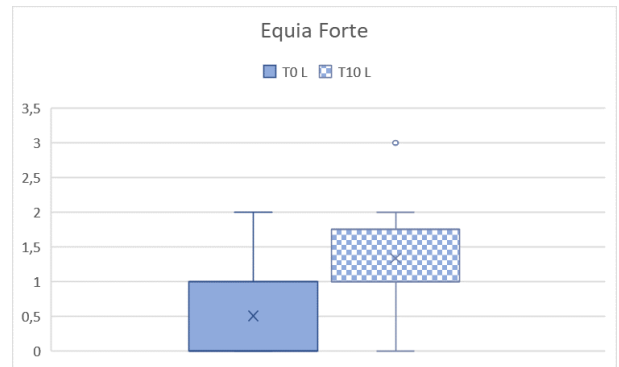


Cependant, même si une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t_0 et t_{10000} ($p = 0,076$).

H_0 acceptée → pas de différence significative
 Eq_0 Fraise = Eq_{10000} Fraise

- Equia Forte™ Laser (T₀/T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Laser est de 0,5 à t₀ et de 1,33 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

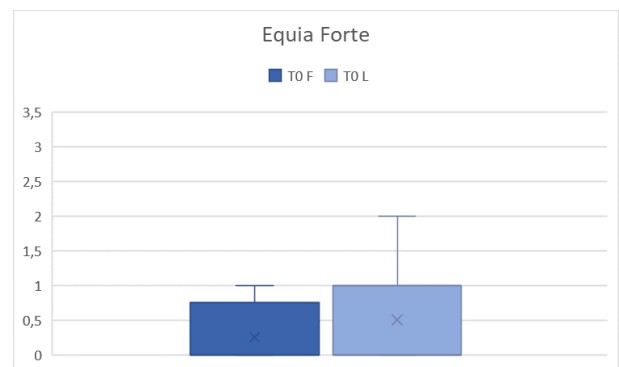


L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ (p = 0,012) avec une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique.

H₁ acceptée → différence significative
Eq₀ Laser > Eq₁₀₀₀₀ Laser

- Equia Forte™ T₀ (Fraise / Laser)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀ Fraise est de 0,250 et pour Equia Forte™ T₀ Laser de 0,5. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

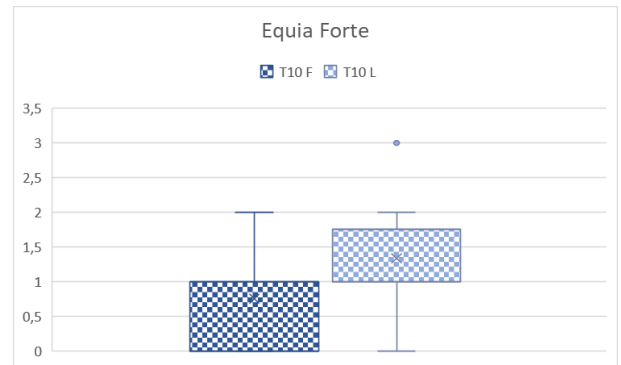


Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité entre Fraise et Laser (p = 0,489).

H₀ acceptée → pas de différence significative
Eq₀ Fraise = Eq₀ Laser

- Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ (Fraise / Laser)

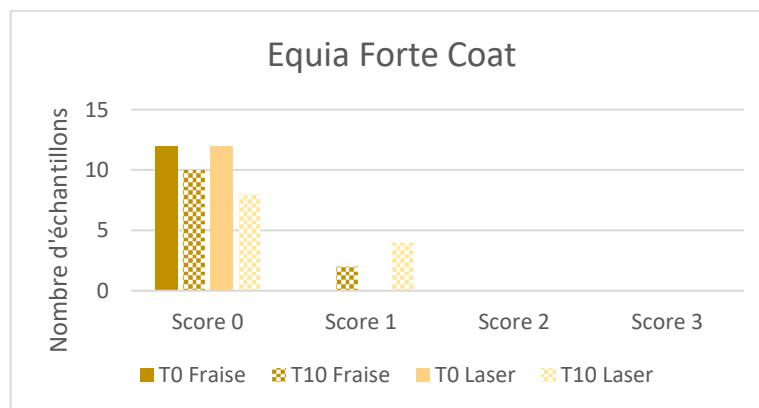
Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,75 et pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser de 1,33. L'étanchéité moyenne est bien supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité entre Fraise et Laser ($p = 0,093$).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 Eq₁₀₀₀₀ Fraise = Eq₁₀₀₀₀ Laser

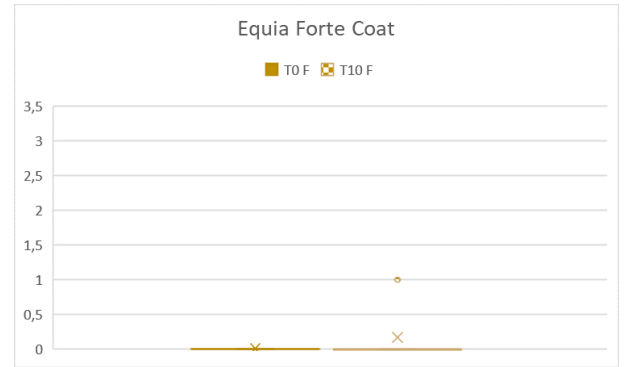
2. Equia Forte™ Coat



Graphique 3 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte Coat

- Equia Forte™ Coat Fraise (T₀ / T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Coat Fraise est de 0 à t₀ et de 0,167 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

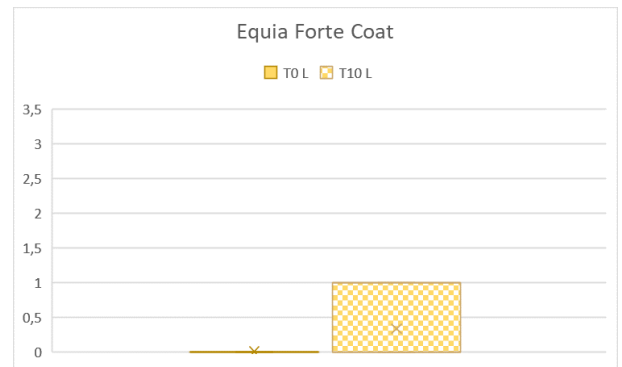


L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ ($p < 0,0001$) avec une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique.

H₁ acceptée → différence significative totale
 EqC₀ Fraise >> EqC₁₀₀₀₀ Fraise

- Equia Forte™ Coat Laser (T₀ / T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Coat Laser est de 0 à t₀ et de 0,33 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

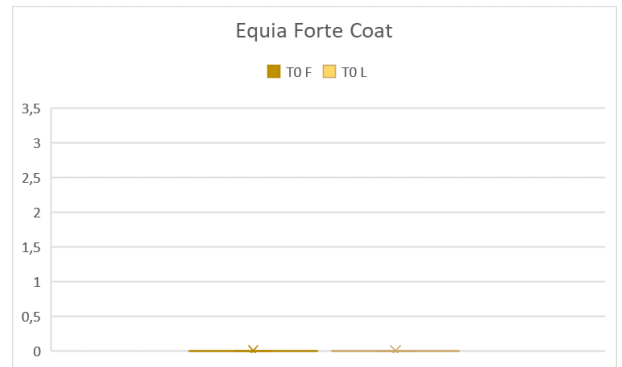


L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ ($p < 0,0001$) avec une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique.

H₁ acceptée → différence significative totale
 EqC₀ Laser >> EqC₁₀₀₀₀ Laser

- Equia Forte™ Coat T₀ (Fraise / Laser)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Coat T₀ Fraise est de 0 et pour Equia Forte™ Coat T₀ Laser de 0. L'étanchéité moyenne est équivalente pour les groupes Fraise et Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

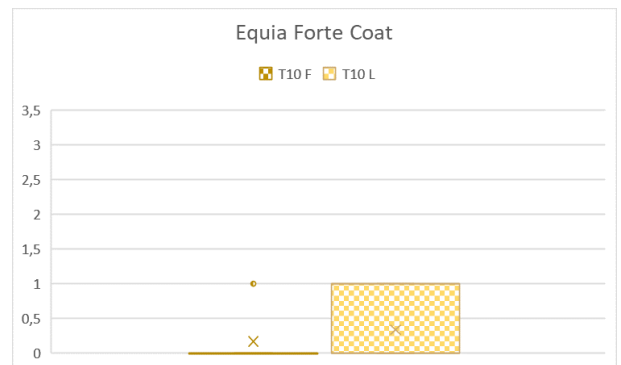


L'analyse statistique ne montre pas de **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité Fraise et Laser ($p = 1$) avec des scores d'infiltration équivalent.

H₀ acceptée → pas de différence significative
EqC₀ Fraise = EqC₀ Laser

- Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ (Fraise / Laser)

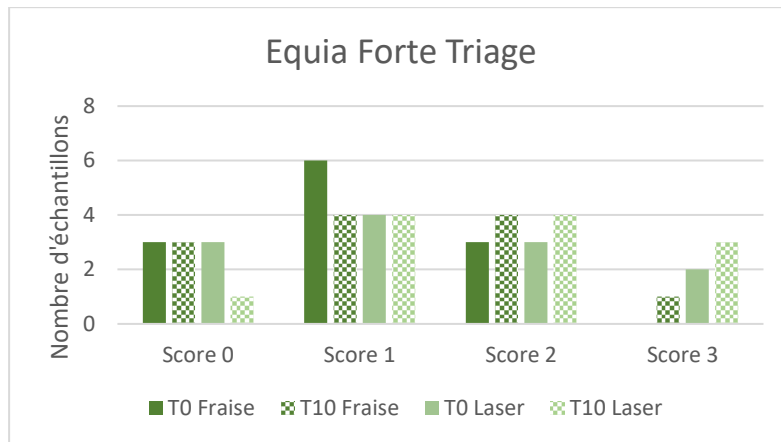
Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,167 et pour Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Laser de 0,33. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité Fraise et Laser ($p < 0,0001$) avec des scores supérieurs pour la préparation Laser.

H₁ acceptée → différence significative totale
EqC₁₀₀₀₀ Fraise >> EqC₁₀₀₀₀ Laser

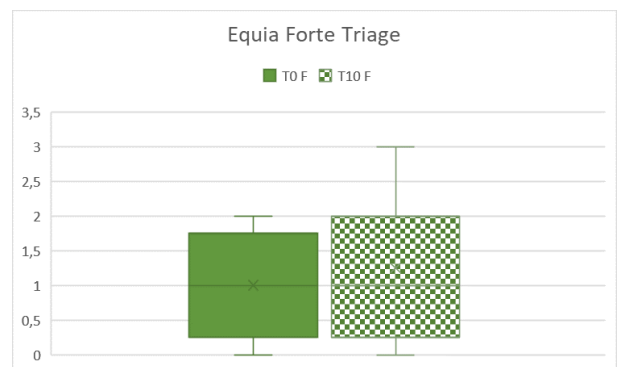
3. Equia Forte™ Triage



Graphique 4 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Equia Forte Triage

- Equia Forte™ Triage Fraise (T₀/T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Triage Fraise est de 1 à t₀ et de 1,250 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



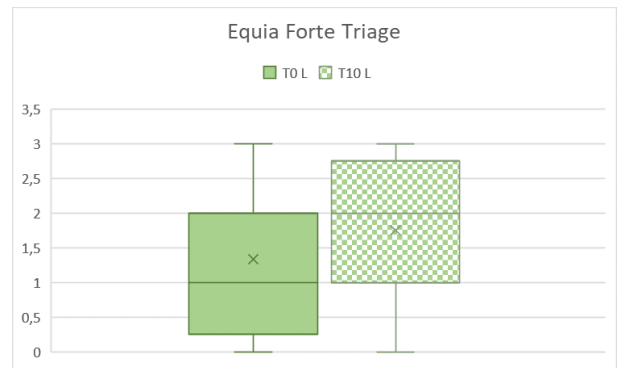
Cependant, même si une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ (p = 0,551).

H₀ acceptée → pas de différence significative

$$EqT_0 \text{ Fraise} = EqT_{10000} \text{ Fraise}$$

- Equia Forte™ Triage Laser (T₀/T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Triage Laser est de 1,33 à t₀ et de 1,75 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

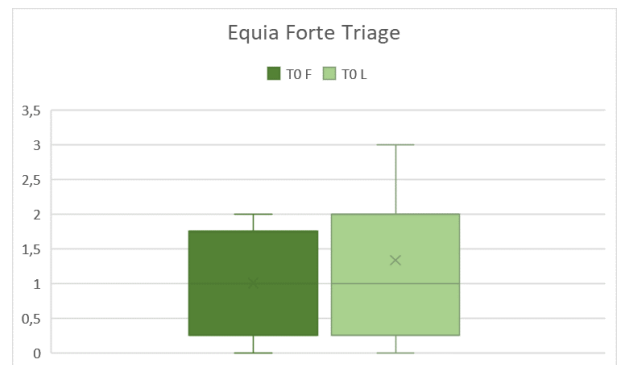


Cependant, même si une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ (p = 0,401).

H₀ acceptée → pas de différence significative
EqT₀ Laser = EqT₁₀₀₀₀ Laser

- Equia Forte™ Triage T₀ (Fraise / Laser)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Triage T₀Fraise est de 1 et pour Equia Forte™ Triage T₀Laser de 1,33. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

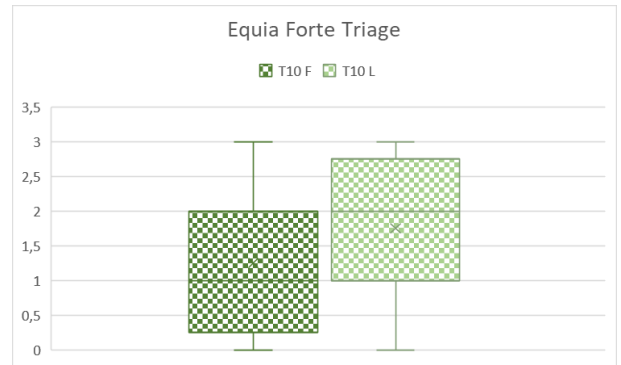


Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité entre Fraise et Laser (p = 0,537).

H₀ acceptée → pas de différence significative
EqT₀ Fraise = EqT₀ Laser

- Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ (Fraise / Laser)

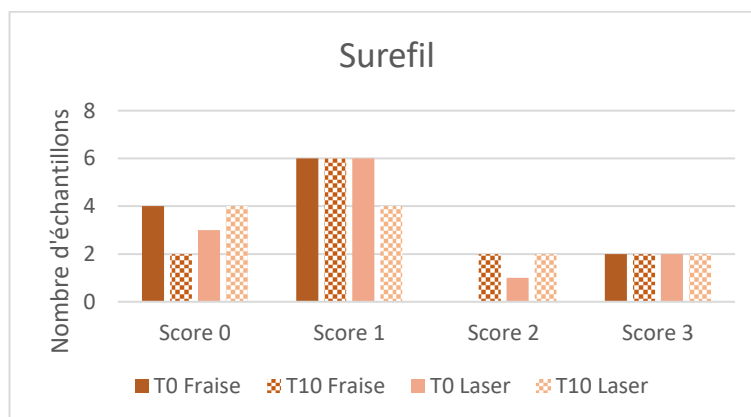
Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Fraise est de 1,25 et pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Laser de 1,75. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité entre Fraise et Laser (p = 0,291).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 EqT₁₀₀₀₀ Fraise = EqT₁₀₀₀₀ Laser

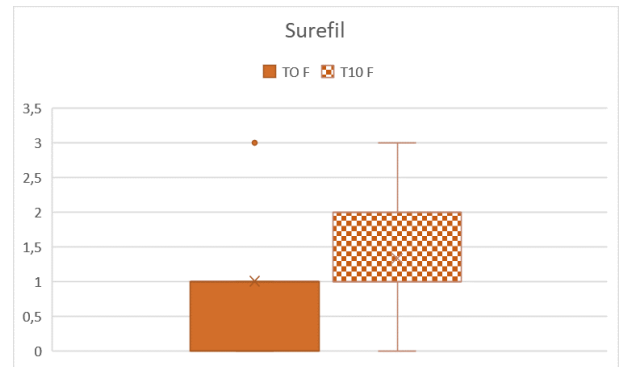
4. Surefil One™



Graphique 5 : Scores obtenus pour chaque condition du groupe Surefil

- Surefil One™ Fraise (T₀/T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Surefil One™ Fraise est de 1 à t₀ et de 1,33 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

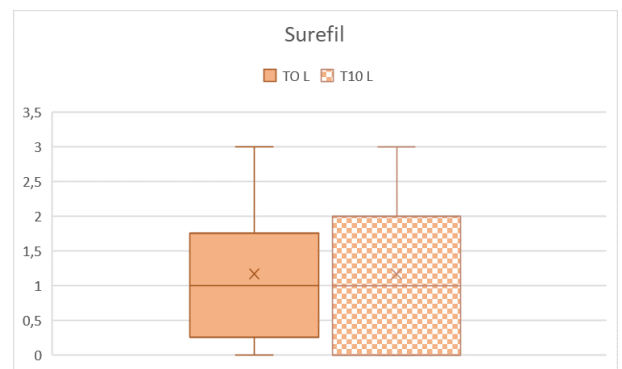


Cependant, même si une augmentation des scores d'infiltration après vieillissement thermique est visible sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ (p = 0,390).

H₀ acceptée → pas de différence significative
Sf₀ Fraise = Sf₁₀₀₀₀ Fraise

- Surefil One™ Laser (T₀/T₁₀₀₀₀)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Surefil One™ Laser est de 1,167 à t₀ et de 1,167 à t₁₀₀₀₀. L'étanchéité moyenne est équivalente pour le groupe t₀ comparé au groupe t₁₀₀₀₀ comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

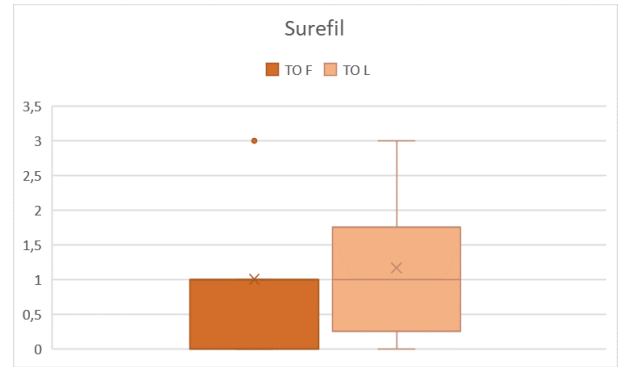


L'analyse statistique ne montre pas de **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité à t₀ et t₁₀₀₀₀ (p = 0,992) avec des scores d'infiltration après vieillissement thermique similaire.

H₀ acceptée → pas de différence significative
Sf₀ Laser = Sf₁₀₀₀₀ Laser

- Surefil One™ T₀ (Fraise / Laser)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Surefil One™ T₀ Fraise est de 1 et pour Surefil One™ T₀ Laser de 1,167. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Fraise comparé au groupe Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



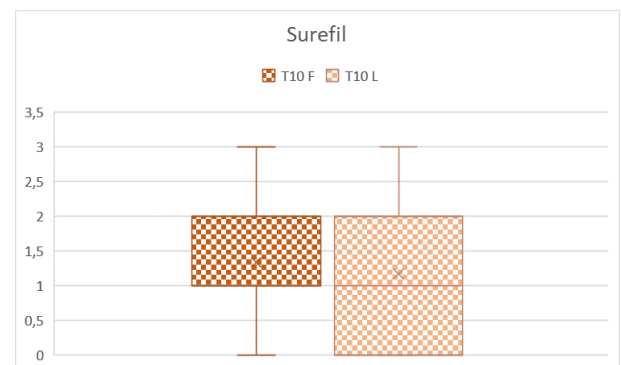
Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot, l'analyse statistique ne montre pas de **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité Fraise et Laser ($p = 0,726$).

H₀ acceptée → pas de différence significative

$$Sf_0 \text{ Fraise} = Sf_0 \text{ Laser}$$

- Surefil One™ T₁₀₀₀₀ (Fraise / Laser)

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 1,33 et pour Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Laser de 1,167. L'étanchéité est supérieure pour le groupe Laser comparé au groupe Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.



Cependant, même si une différence des scores d'infiltration est visible sur le graphique box-plot, l'analyse statistique ne montre pas de **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité Fraise et Laser ($p = 0,662$).

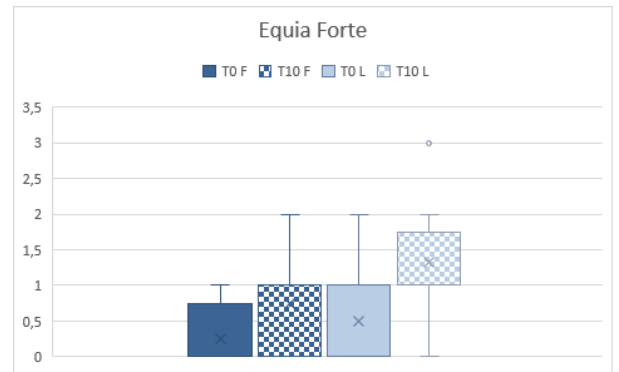
H₀ acceptée → pas de différence significative

$$Sf_{10000} \text{ Fraise} = Sf_{10000} \text{ Laser}$$

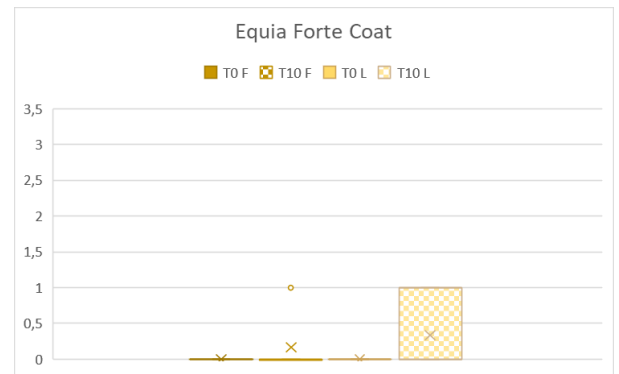
Résumé des résultats obtenus :

NB : Le symbole « > » indique que l'analyse révèle une différence statistiquement significative.

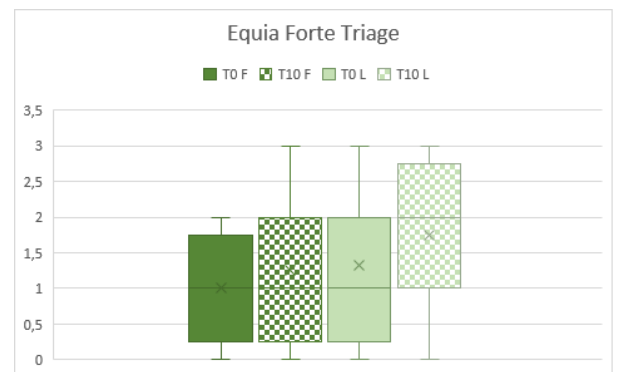
- $Eq_0 \text{ Fraise} = Eq_{10000} \text{ Fraise}$
- **$Eq_0 \text{ Laser} > Eq_{10000} \text{ Laser}$**
- $Eq_0 \text{ Fraise} = Eq_0 \text{ Laser}$
- $Eq_{10000} \text{ Fraise} = Eq_{10000} \text{ Laser}$



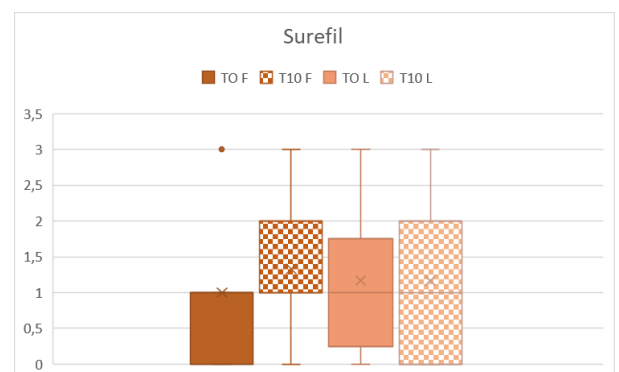
- **$EqC_0 \text{ Fraise} > EqC_{10000} \text{ Fraise}$**
- **$EqC_0 \text{ Laser} > EqC_{10000} \text{ Laser}$**
- $EqC_0 \text{ Fraise} = EqC_0 \text{ Laser}$
- **$EqC_{10000} \text{ Fraise} \gg EqC_{10000} \text{ Laser}$**



- $EqT_0 \text{ Fraise} = EqT_{10000} \text{ Fraise}$
- $EqT_0 \text{ Laser} = EqT_{10000} \text{ Laser}$
- $EqT_0 \text{ Fraise} = EqT_0 \text{ Laser}$
- $EqT_{10000} \text{ Fraise} = EqT_{10000} \text{ Laser}$



- $Sf_0 \text{ Fraise} = Sf_{10000} \text{ Fraise}$
- $Sf_0 \text{ Laser} = Sf_{10000} \text{ Laser}$
- $Sf_0 \text{ Fraise} = Sf_0 \text{ Laser}$
- $Sf_{10000} \text{ Fraise} = Sf_{10000} \text{ Laser}$

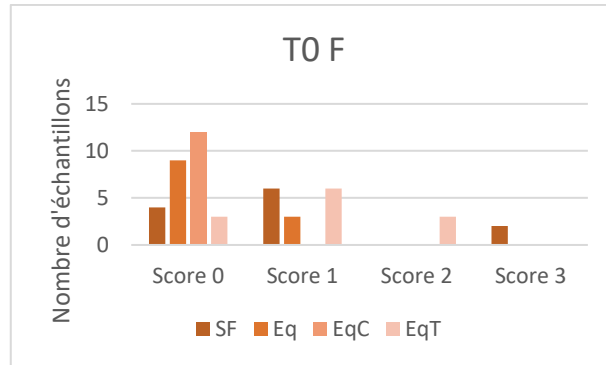


Quand on compare les résultats obtenus avant et après vieillissement et en fonction de la préparation cavitaire on peut en déduire que :

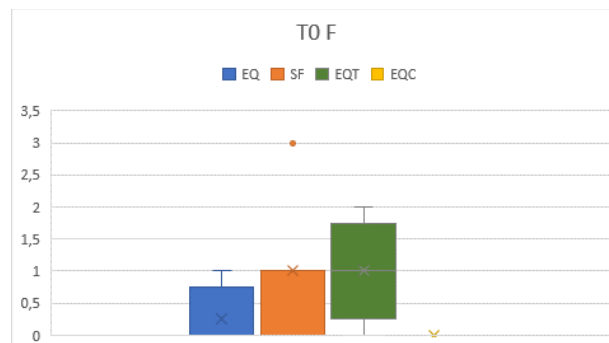
- Le vieillissement thermique augmente les scores d'infiltration et ainsi diminue l'étanchéité pour tous les matériaux de l'étude, surtout pour Equia ForteTM avec une plus grande différence de score entre t_0 et t_{10000} .
- Surefil OneTM est moins sensible au vieillissement thermique avec une moins grande différence de score entre t_0 que t_{10000} .
- Le vieillissement thermique a un effet statistiquement significatif sur les scores d'infiltration pour Equia ForteTM Coat.
- La préparation cavitaire Fraise est meilleure aussi bien à t_0 que t_{10000} .
- Les groupes préparation cavitaire Fraise présentent des scores moyens d'infiltration plus faible que les groupes préparation cavitaire Laser. Ainsi l'étanchéité pour la préparation cavitaire Fraise est supérieure.
- Cependant, il n'y a que pour le groupe Equia ForteTM Coat que la préparation cavitaire à un effet statistiquement significatif sur les scores d'infiltration.

II. Comparaison d'Equia Forte™ par rapport à Equia Forte Coat™, Equia Forte Triage™ et au Surfil One™

1. T₀ Fraise



Graphique 6 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T₀ Fraise



Graphique 7 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T₀ Fraise sous forme de box-plot

- T₀ Fraise : Equia Forte™ / Equia Forte™ Coat

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀ Fraise est de 0,25 et pour Equia Forte™ Coat T₀ Fraise est de 0. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ Coat T₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs ($p < 0,0001$) avec des scores d'infiltration supérieurs pour Equia Forte™ T₀ Fraise.

H₁ acceptée → différence significative totale

Equia Forte™ Coat T₀ Fraise >> Equia Forte™ T₀ Fraise

- T₀ Fraise : Equia Forte™ / Equia Forte™ Triage

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀ Fraise est de 0,25 et pour Equia Forte™ Triage T₀ Fraise est de 1. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs ($p = 0,017$) avec des scores d'infiltration supérieurs pour Equia Forte™ Triage T₀ Fraise.

H₁ acceptée → différence significative
Equia Forte™ T₀ Fraise > Equia Forte™ Triage T₀ Fraise

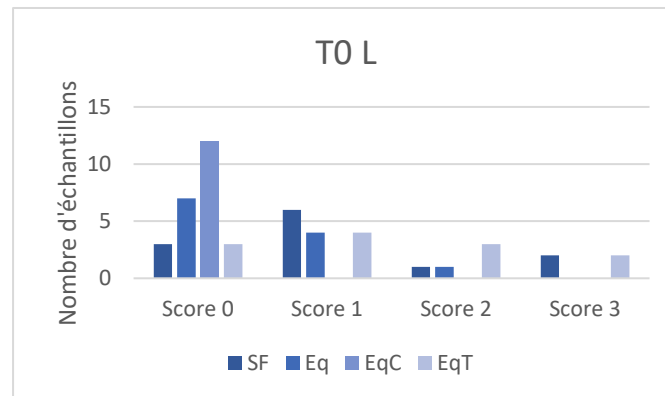
- T₀ Fraise : Equia Forte™ / Surefil One™

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀ Fraise est de 0,25 et pour Surefil One™ T₀ Fraise est de 1. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

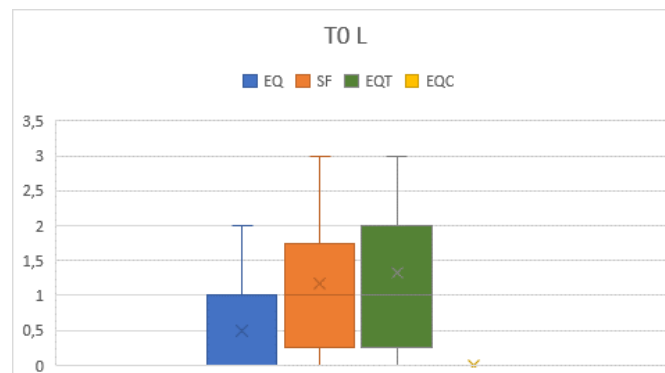
Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Surefil One™ T₀ Fraise sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité ($p = 0,057$).

H₀ acceptée → pas de différence significative
Equia Forte™ T₀ Fraise = Surefil One™ T₀ Fraise

2. T₀ Laser



Graphique 8 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T₀ Laser



Graphique 9 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T₀ Laser sous forme de box-plot

- T₀Laser: Equia Forte™ / Equia Forte™ Coat

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀Laser est de 0,5 et pour Equia Forte™ Coat T₀Laser est de 0. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ Coat T₀Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs ($p = 0,037$) avec des scores d'infiltration supérieurs pour Equia Forte™ T₀Laser.

H₁ acceptée → différence significative

Equia Forte™ Coat T₀ Laser > Equia Forte™ T₀ Laser

- T₀Laser: Equia Forte™ / Equia Forte™ Triage

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀Laser est de 0,5 et pour Equia Forte™ Triage T₀Laser est de 1,33. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₀Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Equia Forte™ Triage T₀Laser sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,059).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 Equia Forte™ T₀ Laser = Equia Forte™ Triage T₀ Laser

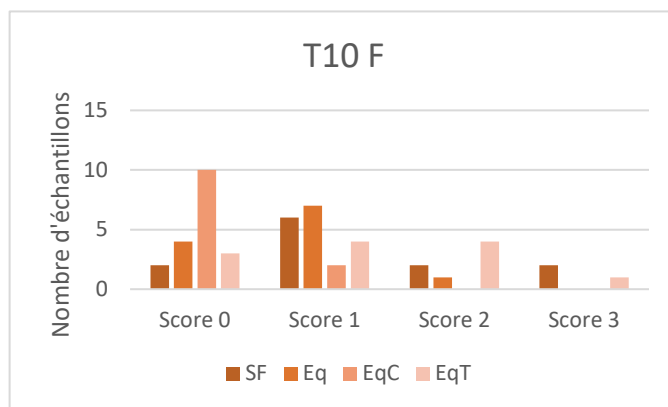
- T₀Laser : Equia Forte™ / Surefil One™

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₀Laser est de 0,5 et pour Surefil One™ T₀Laser est de 1,167. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₀Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

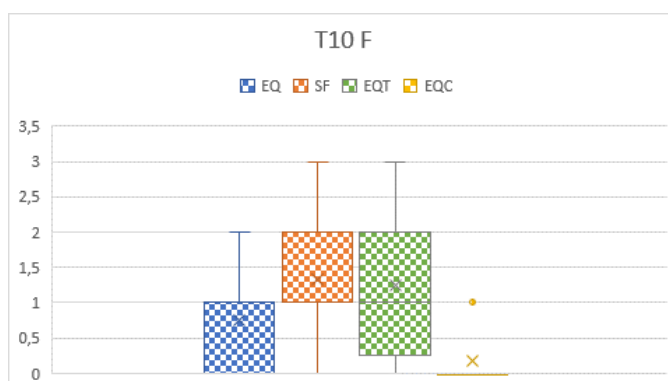
Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Surefil One™ T₀Laser sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,094).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 Equia Forte™ T₀ Laser = Surefil One™ T₀ Laser

3. T₁₀₀₀₀ Fraise



Graphique 10 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T₁₀₀₀₀ Fraise



Graphique 11 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T₁₀₀₀₀ Fraise sous forme de box-plot

- T₁₀₀₀₀ Fraise : Equia Forte™ / Equia Forte™ Coat

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,75 et pour Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,167. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs ($p = 0,029$) avec des scores d'infiltration supérieurs pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise.

H₁ acceptée → différence significative

Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Fraise > Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise

- T₁₀₀₀₀ Fraise : Equia Forte™ / Equia Forte™ Triage

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,75 et pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Fraise est de 1,25. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Fraise sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,222).

H₀ acceptée → pas de différence significative

Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise = Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Fraise

- T₁₀₀₀₀ Fraise : Equia Forte™ / Surefil One™

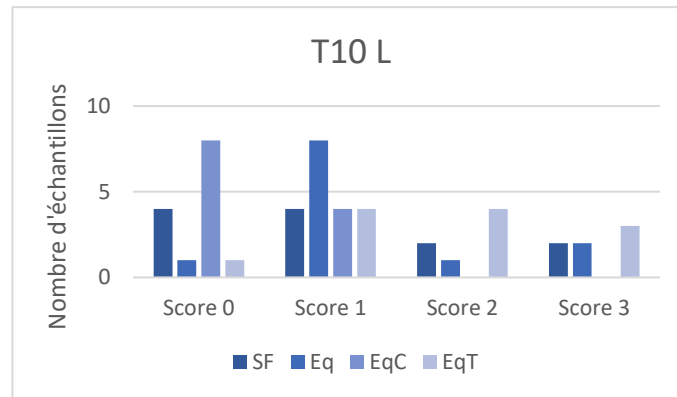
Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 0,75 et pour Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Fraise est de 1,33. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Fraise sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,147).

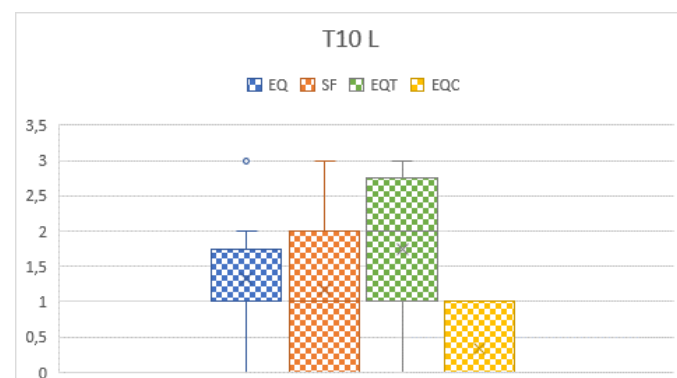
H₀ acceptée → pas de différence significative

Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Fraise = Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Fraise

4. T₁₀₀₀₀ Laser



Graphique 12 : Scores obtenus pour chaque groupe en condition T₁₀₀₀₀ Laser



Graphique 13 : Répartition des scores pour chaque groupe en condition T₁₀₀₀₀ Laser sous forme de box-plot

- T₁₀₀₀₀ Laser : Equia Forte™ / Equia Forte™ Coat

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser est de 1,33 et pour Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Laser est de 0,33. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

L'analyse statistique confirme **une différence statistiquement significative** entre les valeurs ($p = 0,004$) avec des scores d'infiltration supérieurs pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser.

H₁ acceptée → différence significative

Equia Forte™ Coat T₁₀₀₀₀ Laser > Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser

- T₁₀₀₀₀ Fraise : Equia Forte™ / Equia Forte™ Triage

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser est de 1,33 et pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Laser est de 1,75. L'étanchéité moyenne est supérieure pour le groupe Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Laser sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,233).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser = Equia Forte™ Triage T₁₀₀₀₀ Laser

- T₁₀₀₀₀ Fraise : Equia Forte™ / Surefil One™

Le score moyen d'infiltration obtenu pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser est de 1,33 et pour Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Laser est de 1,167. L'étanchéité moyenne est légèrement supérieure pour le groupe Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Laser comme on peut le voir sur le graphique box-plot.

Cependant, même si des scores d'infiltration supérieur pour Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser sont visibles sur le graphique box-plot, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne montre pas une **différence statistiquement significative** entre les valeurs d'étanchéité (p = 0,581).

H₀ acceptée → pas de différence significative
 Equia Forte™ T₁₀₀₀₀ Laser = Surefil One™ T₁₀₀₀₀ Laser

Résumé des résultats obtenus :

NB : Le symbole « > » indique que l'analyse révèle une différence statistiquement significative.

- $Eq_0 \text{ Fraise} < Eq_{C_0} \text{ Fraise}$

- $Eq_0 \text{ Fraise} > Eq_{T_0} \text{ Fraise}$

- $Eq_0 \text{ Fraise} = Sf_0 \text{ Fraise}$

T₀ Fraise

- $Eq_0 \text{ Laser} < Eq_{C_0} \text{ Laser}$

- $Eq_0 \text{ Laser} = Eq_{T_0} \text{ Laser}$

- $Eq_0 \text{ Laser} = Sf_0 \text{ Laser}$

T₀ Laser

- $Eq_{10000} \text{ Fraise} < Eq_{C_{10000}} \text{ Fraise}$

- $Eq_{10000} \text{ Fraise} = Eq_{T_{10000}} \text{ Fraise}$

- $Eq_{10000} \text{ Fraise} = Sf_{10000} \text{ Fraise}$

T₁₀₀₀₀ Fraise

- $Eq_{10000} \text{ Laser} < Eq_{C_{10000}} \text{ Laser}$

- $Eq_{10000} \text{ Laser} = Eq_{T_{10000}} \text{ Laser}$

- $Eq_{10000} \text{ Laser} = Sf_{10000} \text{ Laser}$

T₁₀₀₀₀ Laser

Quand on compare les résultats obtenus par les différents CVI on peut en déduire que :

- Avant et après vieillissement thermique, le système bicouche Equia Forte™ Coat est significativement supérieur aux autres groupes. Il est plus étanche.
- Avant vieillissement, Equia Forte™ est significativement supérieur à Equia Forte™ Triage et Surefil™, qui sont eux équivalents.
- Après vieillissement, Equia Forte™ et Surefil™ présentent des scores d'infiltration similaires.
- Après vieillissement, Equia Forte™, Equia Forte™ Triage et Surefil™ sont statistiquement équivalents.
- Avant et après vieillissement thermique, le système bicouche Equia Forte™ Triage restent toujours inférieur aux autres groupes. Il est moins étanche.

DISCUSSION

I. Discussion de la méthode

1. Choix des matériaux

Le matériau principalement étudié est l'Equia Forte™. Il est présenté par le fabricant comme un CVI HV auto-adhésif. L'objectif est alors de comparer l'étanchéité de l'Equia Forte™ en fonction du vieillissement thermique et en fonction du mode de préparation cavitaire. Nous avons également décidé de le comparer à un système bicouche, associé soit à un CVI fluide Triage™, soit recouvert par une résine fluide Coat.

Puis nous avons choisi de le comparer au Surefil™ chémostymerisé puisqu'ils sont tous deux utilisés en un seul incrément pour restaurer une cavité dentaire. Ce dernier est présenté par le fabricant comme un CVI hybride auto-adhésif car il combine d'une part les propriétés des résines composites et d'autre part celles des CVI.

D'autres études comparent également l'Equia Forte™ à deux types de CVI : un CVIMAR, le Fuji II LC et un CVI haute viscosité, le Surefil one™ notamment l'étude de Frankenburger et celle de Lohbauer U.(2) Dans cette dernière il est aussi confronté à trois résines composites : le CeramX mono+™ de Dentsply Sirona, le Heliomolar® de Ivoclar Vivadent et le Filtek Supreme XTE de 3M. Cette étude évalue l'intégrité marginale, l'usure et le comportement à la rupture d'un ensemble de matériaux de restauration postérieurs après une charge thermomécanique.(42)

Ali A. compare aussi l'Equia Forte™ à deux autres CVIMAR : Fuji II LC et le Riva light cure dans son étude *in vitro*. L'objectif est d'évaluer la micro-infiltration de ces matériaux.(43)

2. Thermocyclage

L'objectif est de simuler *in vitro* les variations thermiques de la cavité buccale. Cependant, la norme ISO/TS 11405:2015 ne décrit pas de protocole standard strict et détaillé. Il en résulte une grande variabilité de conditions expérimentales utilisées dans les études de thermocyclage.

La norme ISO/TS 11405:2015 recommande des températures extrêmes de 5 et 55°C, un temps

de transfert de 5 à 10 secondes et 500 cycles de thermocyclage.(38)

Les températures sont validées par les travaux de Gale M. et ceux de Morresi A. pour les tests *in vitro* des matériaux de restaurations dentaires. De plus, ces valeurs extrêmes correspondent aux seuils de douleur du corps humain.(27,33)

Les paramètres tels que les temps d'immersion dans chaque bain, les temps de transfert et le nombre de cycles sont sujets à des variations en fonction des études. Gale M. conclut que 10 000 cycles correspondent à une année d'usage en bouche.(27) Cela revient à supposer que le matériau subit entre 20 et 50 cycles thermiques par jour en bouche. Bousses Y. préconise, quant à lui, une valeur médiane de temps d'immersion égale à 30 secondes, pour avoir un effet « à cœur » dans le matériau.(44)

Dans une précédente thèse réalisée dans notre laboratoire, Koskas S. a établi un protocole de thermocyclage qui visait à tester trois matériaux dont l'Equia ForteTM avant et après 5000 cycles thermiques afin d'observer l'effet du vieillissement après 6 mois sur les propriétés mécaniques de microdureté et de compression.(45)

Ses résultats n'étaient pas significatifs. Nous avons alors choisi de réaliser 10 000 cycles afin d'observer les matériaux après un an de vieillissement comme le propose Gale M. dans son étude.

II. Discussion des résultats

1. Vieillissement

Notre étude vise à analyser l'évolution des propriétés de micro-infiltration des matériaux soumis à un vieillissement thermique. Ces tests *in vitro* permettent de simuler le vieillissement de l'interface de restauration.

L'étude de Beznos C. concernant l'étanchéité de restauration en résine composite après 5000 cycles, montre que les groupes thermocyclés présentent des valeurs d'infiltration significativement plus élevées le long de l'interface par rapport au groupe témoin (non

thermocyclé).(46) Il en résulte une perte d'étanchéité de la restauration par altération de la matrice, ou encore par dégradation de l'interface à cause de l'expansion thermique et hygroscopique.

Il en est de même dans notre étude, en effet, pour tous les matériaux testés le vieillissement thermique augmente les scores d'infiltration ; surtout pour le groupe Equia ForteTM où l'on observe la plus grande différence de score (Moyenne $Eq_0F = 0,25 / Eq_{10000}F = 0,75$; $Eq_0L = 0,5 / Eq_{10000}L = 1,33$).

Cependant, on remarque que le Surefil oneTM est moins sensible au vieillissement thermique car on observe une plus petite différence de score (Moyenne $Sf_0F = 1 / Sf_{10000}F = 1,33$; $Sf_0L = 1,167 / Sf_{10000}L = 1,167$). Mais, il reste inférieur et donc moins étanche que le CVI HV testé, l'Equia ForteTM.

L'Equia ForteTM est supérieur et donc plus étanche que le Surefil oneTM chimopolymérisé à T_0 cependant les moyennes s'équilibrent après vieillissement. En suivant un protocole de thermocyclage de 10 000 cycles, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence significative entre T_0 et T_{10000} sur les groupes Equia ForteTM et Surefil oneTM. Ainsi, on peut dire que l'Equia ForteTM et le SurefilTM présentent la même étanchéité pendant leur première année.

Cependant, ces deux groupes restent inférieurs à l'association Equia ForteTM Coat qui est amplement plus étanche que les autres groupes et peu sensible au vieillissement.

Si on se concentre sur les différences statistiques, notre étude, n'a pas mis en évidence d'effet significativement différent sur les scores d'infiltration après vieillissement sauf pour le groupe Equia ForteTM Coat, même s'il reste toujours le plus étanche.

Dans une précédente thèse, Bergalla A. conclue que l'association Equia ForteTM Coat conserve la même microdureté après vieillissement thermique.(47) Ce vernis résineux nano-rempli de faible viscosité permet de réduire l'usure des attaques acides pendant les premiers mois jusqu'à maturation complète du CVI. En effet, des recherches ont montré que pendant la prise initiale du CVI, la présence d'humidité diminue les propriétés mécaniques au cours du temps et que les surfaces deviennent plus sensibles à l'érosion et l'abrasion.(21,48) De plus, dans son étude sur l'impact des matériaux de nano recouvrement, Shaymaa H. conclue que Equia ForteTM Coat a un impact positif sur les propriétés physico-mécaniques et l'adaptation des CVI.(49)

L'étude de Poornima P. de 2019 conclut que l'Equia Forte™ présente des propriétés favorables aux restaurations postérieures dans le temps. En l'absence de pose de digue, l'Equia Forte™ est donc un bon compromis face au Surefil one™. Néanmoins, avec la mise en place du Coat, l'association Equia Forte™ Coat reste le matériau de choix en termes d'étanchéité. (50)

2. Préparation cavitaire

Concernant les comparaisons au sein de chaque groupe entre la préparation fraise et la préparation au laser Er : YAG, une meilleure adaptation marginale a été obtenue entre le CVI et les parois de la cavité lorsque la préparation fraise est réalisée.

Notre étude montre que les groupes préparation cavitaire Fraise présentent des scores moyens d'infiltration plus faible que les groupes préparation cavitaire Laser. Ainsi l'étanchéité pour la préparation cavitaire Fraise est supérieure.

De plus, l'adaptation marginale des surfaces fraisées présentent des scores d'étanchéité plus faibles, donc une meilleure étanchéité que les surfaces préparées au Laser, aussi bien à t_0 que à t_{10000} .

Cependant, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre la méthode de préparation fraise et laser ; à l'exception du groupe Equia Forte™ Coat ($p < 5\%$). Sur la base des résultats de cette étude, le laser Er:YAG peut être considéré comme aussi efficace que les méthodes conventionnelles de préparation cavitaires.

Nos résultats sont en accord avec les travaux de Khan M., qui mettent en évidence une différence significative entre 3 matériaux de restauration ($p < 0,05$) qui sont une résine composite, un CVI et un amalgame ; mais il n'y avait pas de différence significative dans les scores d'infiltration entre les cavités préparées avec le laser Er:YAG et celles avec une fraise ($p > 0,05$)(51).

Trois études arrivent à la conclusion qu'il n'y a aucune différence significative entre la technique de préparation cavitaire Fraise et celle à l'aide d'un laser Er:YAG comme l'étude de Sandaji H. et celle de Aranha A.(52,53) Dans une autre étude Corona S. compare même ces techniques à celle de l'air abrasion mais n'obtient pas non plus de différence significative.(54)

Dans son étude Bertrand M. explique que les premières applications cliniques concernant la préparation des cavités au laser Er:YAG n'ont pas montré d'effets secondaires dommageables

sur la qualité de l'interface. De plus, l'absence de douleurs, ainsi que la suppression du bruit et des vibrations liés aux instruments rotatifs, peuvent même être considérées comme avantageuses par rapport aux préparations mécaniques plus conventionnelles.(23)

3. Comparaison du groupe Equia Forte™ par rapport aux autres groupes

La pénétration du colorant à l'interface dent-matériaux est plus élevée lorsque le CVI est utilisé en système bicouche Equia Forte™ / Triage par rapport à tous les autres groupes.

Comme dans le travail de thèse de Koskas S, nous avons montré que l'association Equia Forte™ / Triage n'est pas justifiée. En effet, Koskas S. décrit le système bicouche Equia Forte™ / Triage comme supérieur à Triage™ mais inférieur à Equia Forte™, en termes de propriétés mécaniques, que ce soit sans ou avec vieillissement thermique.(45)

Dans notre étude, le système bicouche Equia Forte™ / Coat est, quant à lui, plus performant que tous les autres groupes puisque la pénétration du colorant à l'interface dent-matériaux est, quant à elle, la plus faible. La comparaison entre les différentes combinaisons de matériaux a démontré que le CVI Equia Forte™ était moins infiltré lorsqu'il était recouvert de Coat.

L'application d'un vernis photopolymérisable est recommandée pour isoler le matériau de restauration du milieu buccal pendant les premières heures de sa prise, lorsqu'il est le plus sensible aux variations hydriques, ainsi que pour renforcer sa résistance mécanique. Selon Diem V, son application améliore cliniquement la résistance du matériau.(21)

Dans l'article de Frankenberger R. concernant l'adaptation marginale, le Surefil one™ a montré un comportement prometteur *in vitro* proche de celui d'une résine composite avec adhésif ($p > 0,05$).⁽²⁾ Cependant, nos résultats montrent que le système bicouche Equia Forte™ Coat est significativement supérieur à Equia Forte™, Equia Forte™ Triage et Surefil one™, avant et après vieillissement thermique. La performance de l'association Equia Forte™ Coat pourrait s'expliquer par le fait que le protocole comprend l'application de deux couches de Coat (avant et après polissage de la restauration) pour augmenter son efficacité.(28)

De plus, avant vieillissement, Equia Forte™ est significativement supérieur à Equia Forte™ Triage et Surefil one™, qui sont équivalents. Il a donc une meilleure étanchéité à t_0 .

Mais après vieillissement, Equia Forte™ et Surefil one™ présentent des scores d'infiltration

similaires. Les résultats s'accordent avec ceux de la thèse de Koskas S, en effet, la différence s'atténue entre les deux matériaux dans le temps.(45) Mais également avec ceux de la thèse de Bergalla A. qui décrit que les caractéristiques mécaniques du Surefil oneTM, que ce soit en mode chémo polymérisable ou photopolymérisable, se rapprochent plus d'un CVI que d'un composite.(47)

CONCLUSION

L'objectif de notre travail était de comparer l'étanchéité de restaurations réalisées avec Equia Forte™ par rapport à l'étanchéité obtenue avec d'autres matériaux (Equia Forte™ Coat, Equia Forte™ Triage et Surefil one™ chémopolymérisé). Ces tests nous ont permis de constater que le vieillissement thermique affecte l'interface de restauration de tous les matériaux de l'étude. De plus, d'après les résultats de notre protocole expérimental de micro-infiltration, il existe une différence significative entre les différentes combinaisons de matériaux d'obturation en faveur de l'utilisation du système bicouche Equia Forte™ Coat. Il existe également une différence significative en défaveur de l'utilisation du système bicouche Equia Forte™ Triage qui montre que cette association n'est pas justifiée.

À la vue des remarques abordées dans la discussion, nous pouvons conclure à une réelle amélioration de l'étanchéité de l'interface dent-matériau avec un système bicouche Equia Forte™ Coat. Les résultats de cette étude vont dans le sens de l'utilisation d'un protocole bicouche Equia Forte™ Coat aussi bien dans les cavités préparées fraise qu'à l'aide du laser Er : YAG. Cependant, la décontamination de la cavité préparée et l'état de surface propre peuvent même être considérés comme avantageux par rapport aux préparations mécaniques plus conventionnelles.

Enfin, la seule technique de pénétration de colorant ne permet pas, à elle seule, de tirer des conclusions définitives. C'est pourquoi il serait intéressant d'effectuer d'autres études utilisant par exemple des techniques de microscopie électronique à balayage pour observer cette interface.

Ce travail est la suite d'un projet d'évaluation global des matériaux couramment utilisés en clinique. En associant les résultats présentés dans cette étude à la thèse concernant les propriétés mécaniques du Surefil one™, ils permettent de conclure que l'Equia Forte™ reste performant au vu des résultats de notre étude, mais ils ne montrent pas de différences significatives en comparaison avec le Surefil one™. Ces matériaux constituent donc une alternative intéressante lorsque l'utilisation des résines composites est impossible, en particulier lors des soins spécifiques sur des enfants, des personnes âgées ou handicapées.

BIBLIOGRAPHIE

1. Al-Eesa NA, Fernandes SD, Hill RG, Wong FSL, Jargalsaikhan U, Shahid S. Remineralising fluorine containing bioactive glass composites. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater.* avr 2021;37(4):672-81.
2. Frankenberger R, Dudek MC, Winter J, Braun A, Krämer N, von Stein-Lausnitz M, et al. Amalgam Alternatives Critically Evaluated: Effect of Long-term Thermomechanical Loading on Marginal Quality, Wear, and Fracture Behavior. *J Adhes Dent.* 2020;22(1):107-16.
3. Baig MS, Fleming GJP. Conventional glass-ionomer materials: A review of the developments in glass powder, polyacid liquid and the strategies of reinforcement. *J Dent.* août 2015;43(8):897-912.
4. Attal JP. Les ciments verres ionomères (CVI), Societe francophone de biomateriaux dentaires. 2010;
5. Guide d'odontologie pédiatrique : la clinique par la preuve. [Malakoff]: Éditions CdP; 2018. 1 vol. (XXXV-458 p.). (Guide clinique (Paris)).
6. Dursun É, Attal J, Goupy L, Courson F. Usage des ciments verre ionomères en odontologie pédiatrique. In 2012 <https://www.semanticscholar.org/paper/Usage-des-ciments-verre-ionom%C3%A8res-en-odontologie-Dursun-Attal>
7. Valeri AS, Sulaiman TA, Wright JT, Donovan TE. In Vitro Wear of Glass-Ionomer Containing Restorative Materials. *Oper Dent.* 1 nov 2022;47(6):678-85.
8. Brkanović S, Ivanišević A, Miletić I, Mezdić D, Jukić Krmek S. Effect of Nano-Filled Protective Coating and Different pH Environment on Wear Resistance of New Glass Hybrid Restorative Material. *Mater Basel Switz.* 5 févr 2021;14(4):755.
9. Krämer N, Möhwald M, Lücker S, Domann E, Zorzini JI, Rosentritt M, et al. Effect of microparticulate silver addition in dental adhesives on secondary caries in vitro. *Clin Oral Investig.* sept 2015;19(7):1673-81.
10. Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I. Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci.* déc 2012;120(6):539-48.
11. Nadig R, Bugalia A, G U, J K, Rao R, Boregowda V. Effect of Four Different Placement Techniques on Marginal Microleakage in Class II Composite Restorations: An in vitro Study. *World J Dent.* 1 avr 2011;2:111-6.
12. Sulewski JG. Historical survey of laser dentistry. *Dent Clin North Am.* 1 oct 2000;44(4):717-52.

13. Dursun E. Les ciments verres ionomères à haute viscosité : présentation, composition, propriété (partie 1). *BioMatériaux Dent Clin*. 1 mars 2016;1:26-33.
14. Wilson AD. Developments in glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont*. 1989;2(5):438-46.
15. Jean-Jacques Lasfargues HT Eric Bonte, Michel Goldberg, Pierre Jonas. Ciments verres ionomères et matériaux hybrides. *Odontologie*. 1998;
16. Francois P, Fouquet V, Attal JP, Dursun E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Mater Basel Switz*. 18 mai 2020;13(10):2313.
17. P. Colon, M. Bolla, E. Leforestier. Cahier des charges des matériaux de restauration utilisés en technique directe - <https://docplayer.fr/24757913-Cahier-des-charges-des-materiaux-de-restauration-utilises-en-technique-directe.html>
18. Rathke A, Pfefferkorn F, McGuire MK, Heard RH, Seemann R. One-year clinical results of restorations using a novel self-adhesive resin-based bulk-fill restorative. *Sci Rep*. 10 mars 2022;12(1):3934.
19. Mohan M, Aljohani Y, Rosivack RG. Effect of a wear-resistant resin coat on the color stability of a resin-modified glass ionomer restorative material. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2021;39(3):262-6.
20. Sobh EG, Hamama HH, Palamara J, Mahmoud SH, Burrow MF. Effect of CPP-ACP modified-GIC on prevention of demineralization in comparison to other fluoride-containing restorative materials. *Aust Dent J*. sept 2022;67(3):220-9.
21. Diem VTK, Tyas MJ, Ngo HC, Phuong LH, Khanh ND. The effect of a nano-filled resin coating on the 3-year clinical performance of a conventional high-viscosity glass-ionomer cement. *Clin Oral Investig*. 1 avr 2014;18(3):753-9.
22. Jean-Paul Rocca. Les lasers en odontologie - 2008 <https://www.decitre.fr/livres/les-lasers-en-odontologie-9782843611230.html>
23. Bertrand MF, Rocca JP. Laser Er:YAG et odontologie restauratrice. *EMC - Stomatol*. 1 juin 2005;1(2):104-15.
24. Aoki A, Miura M, Akiyama F, Nakagawa N, Tanaka J, Oda S, et al. In vitro evaluation of Er:YAG laser scaling of subgingival calculus in comparison with ultrasonic scaling. *J Periodontal Res*. oct 2000;35(5):266-77.
25. Bertrand MF. Préparations cavitaires au laser Er:YAG et collage d'une résine composite [These de doctorat]. Nice; 2002 <https://www.theses.fr/2002NICE7501>

26. Bertrand MF, Semez G, Leforestier E, Muller-Bolla M, Nammour S, Rocca JP. Er:YAG laser cavity preparation and composite resin bonding with a single-component adhesive system: Relationship between shear bond strength and microleakage. *Lasers Surg Med.* 2006;38(6):615-23.
27. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* févr 1999;27(2):89-99.
28. Notice EQUIA Forte HT | GC Europe N.V. 2020 Disponible sur: <https://www.gc.dental/europe/en-GB/products/equiaforteht>
29. Notice Surefil one Disponible sur: <https://www.dentsplysirona.com/fr-be/shop/R-BP-1000170064/surefil-one.html>
30. Notice Fuji Triage | GC Europe N.V. 2020 Disponible sur: <https://www.gc.dental/europe/en-GB/products/fujitriage>
31. Notice BA Optima U-mix - BASE800 - Henry Schein Disponible sur: <https://www.henryschein.be/be-fr/dental/p/petit-equipement/vibreurs/ba-optima-u-mix-base800/9791379>
32. Notice MECATECH-334 Disponible sur: <https://www.presi.com/wp-content/uploads/2019/06/MECATECH-334-SPC.pdf>
33. Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, et al. Thermal cycling for restorative materials: Does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater.* janv 2014;29:295-308.
34. Carreira M, Antunes PV, Ramalho A, Paula A, Carrilho E. Thermocycling effect on mechanical and tribological characterization of two indirect dental restorative materials. *J Braz Soc Mech Sci Eng.* janv 2017;39(1):1-17.
35. Nelsen RJ, Wolcott RB, Paffenbarger GC. Fluid exchange at the margins of dental restorations. *J Am Dent Assoc* 1939. mars 1952;44(3):288-95.
36. Torstenson B, Brännström M. Contraction gap under composite resin restorations: effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dent.* 1988;13(1):24-31.
37. Boussès Y. Prédiction et modélisation des propriétés mécaniques des composites dentaires : approche expérimentale, théorique et numérique [These de doctorat]. Université Paris sciences et lettres; 2021 <https://www.theses.fr/2021UPSLM013>
38. 14:00-17:00. ISO. ISO/TS 11405:2015. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/62898.html>
39. Dusart P. Cours de Statistiques inférentielles. 2018;

40. Les Statistiques Inférentielles (test de Student) 2011 http://www.issep-ks.rnu.tn/fileadmin/templates/Fcad/Test__de_Student.pdf
41. Carpentier. Le test de Wilcoxon Mann Whitney. 2015;Ecole Normale Supérieure.
42. Lohbauer U, Belli R. The Mechanical Performance of a Novel Self-Adhesive Restorative Material. *J Adhes Dent.* 2020;22(1):47-58.
43. Ali A, EL-Malt M, Mohamed E. A Comparative Evaluation of EQUIA Forte Microleakage Versus Resin-Modified Glass Ionomer. *Al-Azhar Dent J Girls.* 1 juill 2019;6(3):249-54.
44. Boussès Y, Brulat-Bouchard N, Bouchard PO, Tillier Y. A numerical, theoretical and experimental study of the effect of thermocycling on the matrix-filler interface of dental restorative materials. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater.* mai 2021;37(5):772-82.
45. Koskas S. Effet du vieillissement thermique sur les propriétés mécaniques de 2 ciments verres ionomères à haute viscosité: tests de microdureté et de compression. 2020;
46. Beznos C. Microleakage at the cervical margin of composite Class II cavities with different restorative techniques. *Oper Dent.* 2001;26(1):60-9.
47. Bergalla A. Analyse des propriétés mécaniques avant et après thermocyclage d'un nouveau matériau auto-adhésif hybride: le Surefil oneTM. 2022;
48. Handoko M, Tjandrawinata R, Octarina. The effect of nanofilled resin coating on the hardness of glass ionomer cement. In: *Scientific Dental Journal* 2020 p. 97. <http://www.scidentj.com/text.asp?2020/4/3/97/298438>
49. Habib SI, Yassen AA, Bayoumi RE. Influence of Nanocoats on the Physicomechanical Properties and Microleakage of Bulk-fill and Resin-modified Glass Ionomer Cements: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract.* 1 janv 2021;22(1):62-8.
50. Poornima P, Koley P, Kenchappa M, Nagaveni NB, Bharath KP, Neena IE. Comparative evaluation of compressive strength and surface microhardness of EQUIA Forte, resin-modified glass-ionomer cement with conventional glass-ionomer cement. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2019;37(3):265-70.
51. Khan MFR, Yonaga K, Kimura Y, Funato A, Matsumoto K. Study of Microleakage at Class I Cavities Prepared by Er:YAG Laser Using Three Types of Restorative Materials. *J Clin Laser Med Surg.* déc 1998;16(6):305-8.
52. Sanhadji El Haddar Y, Cetik S, Bahrami B, Atash R. A Comparative Study of Microleakage on Dental Surfaces Bonded with Three Self-Etch Adhesive Systems Treated with the Er:YAG Laser and Bur. *BioMed Res Int.* 2016;2016:1-6.

53. Aranha ACC, Turbino ML, Powell GL, Eduardo C de P. Assessing microleakage of class V resin composite restorations after Er:YAG laser and bur preparation. *Lasers Surg Med.* 2005;37(2):172-7.
54. Corona SA, Borsatto M, Dibb RG, Ramos RP, Brugnera A, Pécora JD. Microleakage of class V resin composite restorations after bur, air-abrasion or Er:YAG laser preparation. *Oper Dent.* 2001;26(5):491-7.



Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,
Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de
Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur

Professeur Laurence LUPI

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

Serment d'Hippocrate

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate,

Je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon Devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.

Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Monsieur Victor RIBEIRO

**ÉTUDE DE L'EFFET DU VIEILLISSEMENT THERMIQUE
SUR L'ÉTANCHEITE DE DEUX CIMENTS VERRES
IONOMERES À HAUTE VISCOSITÉ ET DE DEUX TYPES
DE PRÉPARATION CAVITAIRE FRAISE ET LASER**

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, 2024, n° 42-57-24-09

Directeur de thèse : **Professeur Nathalie BRULAT-BOUCHARD**

Mots-clés : Odontologie, Restaurations directes, Ciments Verres Ionomères, Matériaux hybrides, Étanchéité, Micro-infiltration, Laser Er : YAG, Thermocyclage.

Résumé : L'Equia Forte™ HT Fil est un Ciment Verre Ionomère Haute Viscosité (CVI HV) chémpolymérisable, qui combine les propriétés des résines composites à celles des CVI. Dans cette étude il est étudié associé ou non à la résine de recouvrement Equia Forte Coat™. L'objectif de cette étude est d'évaluer les conséquences du vieillissement thermique et de la préparation cavitaire Fraise et Laser sur les propriétés d'étanchéité *in vitro* des CVI Haute Viscosité au niveau de l'interface dent / matériaux. Il est comparé à deux autres matériaux : le CVI Hybride Surefil One™ et le CVI fluide Fuji Triage™ en système « bicouche » (association d'un CVI fluide et d'un CVI HV).

Les manipulations sont réalisées au CEMEF de l'école des Mines ParisTech, à Sophia Antipolis. Les dents sont préparées et testées selon la norme ISO/TS 11405:2015. La moitié des dents est infiltrée de colorant sans vieillissement. Tandis que l'autre moitié subit, avant infiltration, 10 000 cycles de thermocyclage correspondant à une année de vieillissement *in vivo*. Les données sont analysées à l'aide du test statistique non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney.

L'étanchéité du groupe Equia Forte™ / Coat™ est supérieure à tous les autres groupes avant et après vieillissement. L'étanchéité du groupe Equia Forte™ est supérieure au groupe Surefil One™ avant vieillissement mais devient similaire après vieillissement. Le groupe Equia Forte™ / Triage™ présente la moins bonne étanchéité.

Ces tests nous permettent de conclure que l'Equia Forte™ reste performant, mais ils ne montrent pas de différences significatives en comparaison avec le Surefil One™. Cependant, nous pouvons conclure à une réelle amélioration de l'étanchéité de l'interface dent-matériau avec un système bicouche Equia Forte™ Coat.