

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2016

N° 7

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 27 janvier 2016

par

FLAUS Grégoire

né le 30 janvier 1988 à MULHOUSE

FACETTE ET RECOUVREMENT PARTIEL D'UN COMPOSITE DE CLASSE III :
ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS DES CONTRAINTES MÉCANIQUES.

Président : Professeur TADDEÏ Corinne
Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur SERFATY René
Docteur KRIER Joël
Docteur CHOQUET Philippe
Docteur HEICHELBECH Frédéric

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur C. TADDEI

Doyens honoraires : Professeur R. FRANK
Professeur M. LEIZE
Professeur Y. HAIKEL

Professeurs émérites : Professeur M. LEIZE
Professeur A. FEKI
Professeur H. TENENBAUM

Responsable des Services Administratifs : Mme F. DITZ

Professeurs des Universités

W. BACON	Orthopédie Dento-Faciale
V. BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
A. BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
F. CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
J-L. DAVIDEAU	Parodontologie
Y. HAÏKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
M-C. MANIERE	Odontologie Pédiatrique
F. MEYER	Sciences Biologiques
M. MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
A-M. MUSSET	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
C. TADDEI	Prothèses
B. WALTER	Prothèses

Maîtres de Conférences

S. BAHI-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
L. BIGEARD	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Y. BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
F. BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
A. BOUKARI	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
O. ETIENNE	Prothèses
F. FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
M. FREYMANN	Odontologie Conservatrice - Endodontie
C-I. GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomateriaux - Biophysique - Radiologie
O. HUCK	Parodontologie
R. JOERGER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomateriaux - Biophysique - Radiologie
S. JUNG	Sciences Biologiques
N. LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomateriaux - Biophysique - Radiologie
F. OBRY	Odontologie Pédiatrique
R. SERFATY	Odontologie Conservatrice - Endodontie
M. SOELL	Parodontologie
E. WALTMANN	Prothèses

Equipes de Recherche

N. JESSEL	INSERM / Directeur de Recherche
Ph. LAVALLE	INSERM / Directeur de Recherche
H. LESOT	CNRS / Directeur de Recherche
M-H. METZ-BOUTIGUE	INSERM / Directeur de Recherche
P. SCHAAF	UdS / Professeur des Universités / Directeur d'Unité
B. SENGHER	INSERM / Directeur de Recherche

A notre présidente de thèse, madame le Professeur Corinne Taddei, vous nous avez fait un très grand honneur en acceptant la présidence de notre thèse. Nous vous remercions de votre confiance et de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à notre travail. Nous avons apprécié la qualité de votre enseignement.

A notre directeur de thèse, monsieur le Docteur Olivier Etienne, nous vous sommes infiniment reconnaissant d'avoir accepté de diriger cette thèse. Nous voulons également vous remercier pour la très grande qualité de vos enseignements théoriques et cliniques. Veuillez trouver, à travers ce travail, l'expression de notre plus grande admiration et de notre plus grand respect.

A notre juge, monsieur le Docteur René Serfaty, votre présence parmi les membres du jury nous honore. Nous vous remercions pour l'intérêt que vous portez à ce travail en acceptant de juger notre thèse. Nous vous remercions pour la qualité de votre enseignement. Soyez assuré de l'expression de notre profond respect.

A notre juge, monsieur le Docteur Philippe Choquet, nous vous remercions d'avoir accepté de siéger à notre jury de thèse et de l'intérêt que vous avez porté à notre travail. Nous vous remercions également pour votre soutien et votre disponibilité. Soyez assuré de l'expression de notre profonde reconnaissance.

A notre juge, monsieur le Docteur Joël Krier, nous avons apprécié votre investissement et votre disponibilité au cours de ce travail. Soyez assuré de l'expression de notre plus grand respect et le témoignage de notre sincère reconnaissance

A notre juge, monsieur le Docteur Frédéric Heichelbech, Nous vous remercions nous vous sommes reconnaissants de nous faire l'honneur d'apporter vos connaissances à la critique de notre travail.

A mes parents, pour votre amour et votre soutien.

A Galliane, avec tout mon amour.

A mes amis, pour les bons moments que nous avons partagés.

A Amira, pour ton aide précieuse, merci de m'avoir initié à l'imagerie pré-clinique.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2016

N° 7

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 27 janvier 2016

par

FLAUS Grégoire

né le 30 janvier 1988 à MULHOUSE

FACETTE ET RECOUVREMENT PARTIEL D'UN COMPOSITE DE CLASSE III :
ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS DES CONTRAINTES MÉCANIQUES.

Président : Professeur TADDEÏ Corinne
Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur SERFATY René
Docteur KRIER Joël
Docteur CHOQUET Philippe
Docteur HEICHELBECH Frédéric

Tables des matières

Introduction.....	5
Problématique.....	7
Partie I : Les facettes en céramique collées.....	8
I. Indications des facettes.	9
A. Type I : Amélioration / corrections de couleur	10
1. Type IA : Colorations dues aux tétracyclines de degré 3 et 4.	10
2. Type IB : Dents réfractaires à éclaircissement externe.	11
a) Fluorose de type III (avec porosité).....	11
b) Oblitération canalaire post-traumatique avec conservation de la vitalité pulpaire.....	12
B. Type II : Corrections de forme.....	13
1. Type II A : Dents riziformes.	13
2. Type IIB : Fermeture des diastèmes et des triangles noirs inter-dentaires. 14	
3. Type IIC : Allongement des bords libres courts.....	14
C. Type III : Anomalie de structure et restauration de grandes étendues.	15
1. Type IIIA : Fractures coronaires étendues.	15
2. Type IIIB : Perte d'émail de grande étendue par phénomène d'usure et/ou érosion.....	16
3. Type IIIC : Malformations acquises et congénitales de l'émail.	16
D. Type IV : Corrections et/ou atténuations des malpositions dentaires.	17
II. Contre-indications des facettes.....	18
A. Malocclusions et contraintes occlusales.....	18
B. Quantité et nature des tissus dentaires résiduels.....	19
C. La couleur.	20
D. Tabagisme	20
E. Le parodonte	20

F.	Le manque d'hygiène bucco-dentaire.....	21
G.	Les malpositions majeures.....	21
III.	Formes et protocoles de préparation pour facettes en céramique collées. .	21
A.	Avant-propos.....	21
B.	Procédure clinique.....	23
1.	La gestion de la profondeur de la préparation, pénétration contrôlée et préparation à travers le masque esthétique.....	23
2.	La limite cervicale.....	25
3.	Les limites proximales.....	26
4.	La réduction du bord libre.....	27
5.	Finitions.....	27
C.	Les différentes formes de préparations.....	28
1.	Préparation fenêtrée (Window préparation)	28
2.	Préparation avec réduction du bord libre sans retour palatin (Butt Margin)	29
3.	Préparation avec réduction du bord libre et retour palatin (Incisal overlap)	29
4.	Facette sans préparation (no prep).....	30
IV.	Formes de préparation et restaurations directes préexistantes.....	30
V.	Taux de survie clinique.....	32
A.	Facteurs influençant le taux de survie des facettes en céramiques collées.	33
1.	La forme de la préparation :	33
2.	L'assemblage.....	36
Partie II : Etude par la méthode des éléments finis.....		41
A.	La tomodensitométrie.....	42
2.	Les projections :	43
3.	Les rétroprojections.....	43
4.	L'image.....	43
B.	De la représentation géométrique aux éléments finis.	45
1)	La représentation géométrique par les surfaces paramétriques.	45
2)	Le maillage.....	46
3)	Les fonctions de base.	50
4)	Les éléments finis :	51

C.	Calcul.....	51
D.	Points essentiels à l'analyse par éléments finis.....	54
E.	Quelques applications de la simulation par éléments finis dans le domaine médical.....	56
Partie III :	Matériels et Méthode.....	58
I.	Modèle étudié.....	59
II.	Protocole de préparation.....	59
III.	Numérisation de l'incisive.....	61
IV.	Modélisation et éléments finis.....	64
A.	Du fichier .STL au fichier .IGES.....	65
B.	Du fichier IGES. Au fichier .BDF.....	67
1.	Création du solide « colle ».....	67
2.	Modélisation des solides « émail », « dentine » et « facette ».....	69
3.	Modélisation des éléments finis.....	70
b)	Caractérisation des domaines et sous-domaines.....	72
C.	Le solveur.....	74
1.	Application des conditions limites.....	74
2.	Transformation du modèle/ Modélisation d'une restauration directe au composite.....	76
Partie IV :	Résultats et discussion.....	78
I.	Résultats.....	79
A.	Introduction.....	79
B.	Le matériau étudié : La céramique :.....	79
C.	Champs de contraintes étudiés.....	80
II.	Discussions :.....	98
A.	Comparaison des différents modèles.....	99
Conclusions.....		102
Références bibliographiques		106

Introduction.

L'apparence physique constitue la première source d'information dont nous disposons à propos d'une personne. Dans notre société, cette apparence prend une part de plus en plus importante et est d'ailleurs considérée par certaines personnes ou sociétés comme un critère majeur pour se faire intégrer dans un groupe. Cette perception de l'image de soi a un impact psychologique qui n'est plus à démontrer.

Dans ce cadre, la demande de prise en charge à visée esthétique formulée par nos patients fait partie du quotidien du praticien. De plus, cette demande se voit être de plus en plus exigeante et précise, parfois dictée par les canons de la mode et le dictat des médias.

Les facettes en céramique sont l'une des options possibles permettant aux praticiens de répondre à cette demande. Autrefois considérée comme une technique réservée aux praticiens les plus experts, le traitement par facettes s'est largement démocratisé ces dernières années.

Les facettes sont généralement réalisées en céramique vitreuse et, dans de rares cas, en composite. La finesse de ces pièces exige de la part du praticien la plus grande rigueur et un respect stricto sensu des protocoles de préparation et lors de l'étape de collage. La technique de préparation à travers le masque, décrite par Gürel, respecte le concept de dentisterie a minima, permettant à la préparation de rester essentiellement dans l'émail. Ceci permet à la fois de préserver un maximum de structure dentaire, et d'autre part de permettre un collage optimal à l'émail.

De nombreuses études ont été réalisées, portant sur le taux de survie des facettes en céramique en fonction du degré d'exposition dentinaire. Celles-ci relatent, de manière générale, une baisse significative du taux de survie à partir de 50% d'exposition dentinaire.

Néanmoins, la dentine et l'email ne sont pas les seuls substrats susceptibles d'être présents.

En effet une dent peut présenter un composite de restauration directe. La prise en compte et la possible conservation de ce matériau supplémentaire doivent être envisagées, notamment sur le plan mécanique, afin d'assurer l'intégrité de nos restaurations futures.

Ainsi dans cette thèse, nous étudions, par comparaison, le comportement mécanique d'une facette en céramique collée à une incisive centrale maxillaire intacte de restauration directe et de la même facette collée sur une incisive présentant un composite de classe III.

Pour ce faire, nous utilisons l'analyse par la méthode des éléments finis. Cette technique d'analyse est très utilisée dans le domaine de l'ingénierie, l'aéronautique, et le médical.

L'objectif principal de ce travail est de conclure à une éventuelle indication clinique visant à conserver les composites de classe III et de limiter la préparation à la seule face vestibulaire.

Problématique.

Le traitement esthétique par facettes en céramiques collées se démocratise ces dernières années. L'avènement du collage, les progrès technologiques, le marketing industriel poussent les praticiens à avoir recours à ce type d'artifice prothétique. Malgré un taux de succès excellent, la facette en céramique reste un élément prothétique délicat à mettre en œuvre, et ayant un champ d'indications restreint.

Dans le cadre de la réhabilitation d'un sourire, il est assez fréquent de traiter des dents ayant déjà eu une vie de soins.

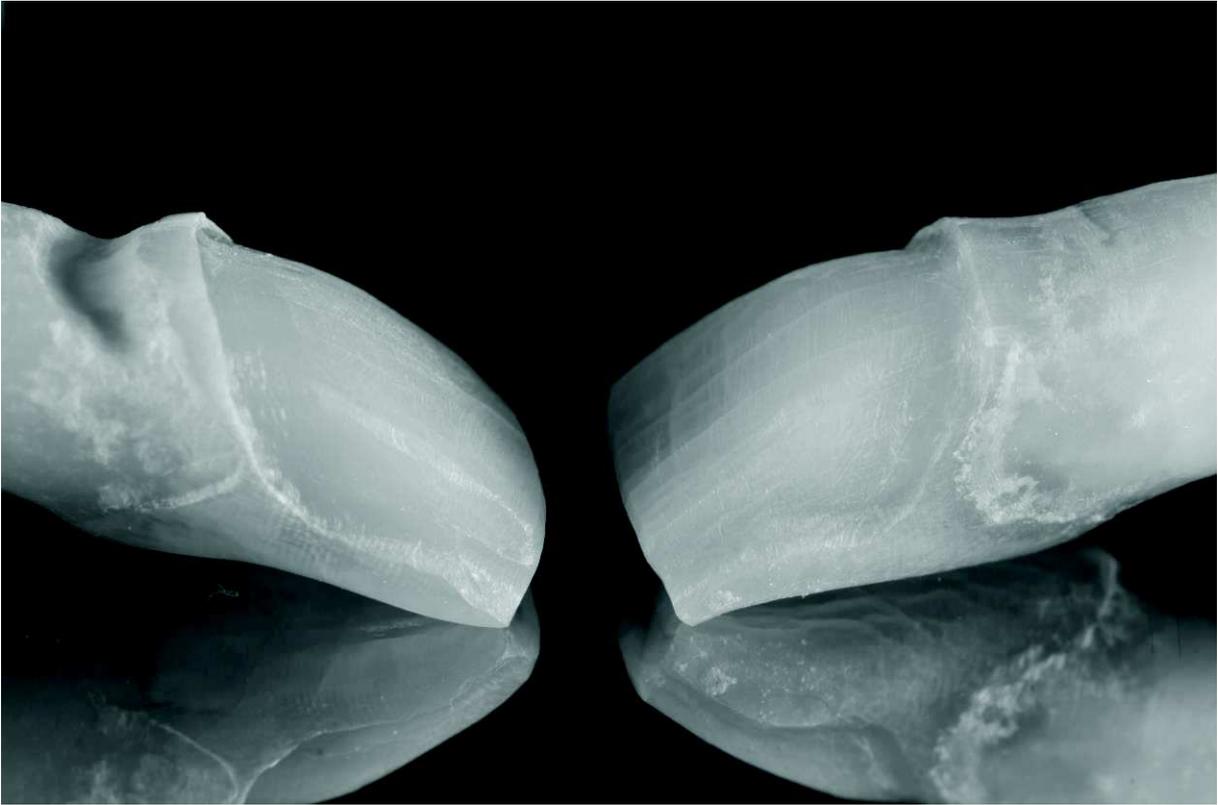
A l'heure actuelle, il n'existe que très peu d'études, et aucun consensus nous permettant de guider ou de limiter notre choix thérapeutique pour traiter des dents ayant un composite et pouvant recevoir une facette en céramique.

Il peut donc se poser des questions :

- Comment se comporte la facette en céramique lorsqu'elle est collée sur une incisive présentant déjà un composite de classe III ?
- La nature du composite de restauration influence-t-elle la réaction mécanique de la facette à la contrainte ?

Cette étude ne portera que sur le type de préparation « butt margin » et elle ne s'intéressera qu'au comportement mécanique de la céramique.

Partie I : Les facettes en céramique collées.



I. Indications des facettes.

La préparation d'une pièce prothétique telle une facette se doit d'être la plus conservatrice possible, afin d'optimiser le collage et d'obtenir ainsi une restauration durable dans le temps (2). Pour ce faire, une mince pellicule d'émail est soustraite (fraisée) en veillant à garder un maximum de surface amélaire (3).

En conséquence, une dent ne présentant pas une surface de collage amélaire suffisante ne pourra pas entrer dans le champ des indications (4-6).

Il faut également garder à l'esprit que les facettes en céramique se placent dans une approche thérapeutique progressive, illustrée par Gil Tirlet et Jean-Pierre Attal à travers le concept de « Gradient Thérapeutique » (Figure I- 1). Ce dernier permet de répondre aux demandes de nos patients, en débutant par un traitement peu invasif (à gauche de l'axe) puis, en fonction du résultat escompté, en avançant vers des traitements de moins en moins économes en tissus dentaires.

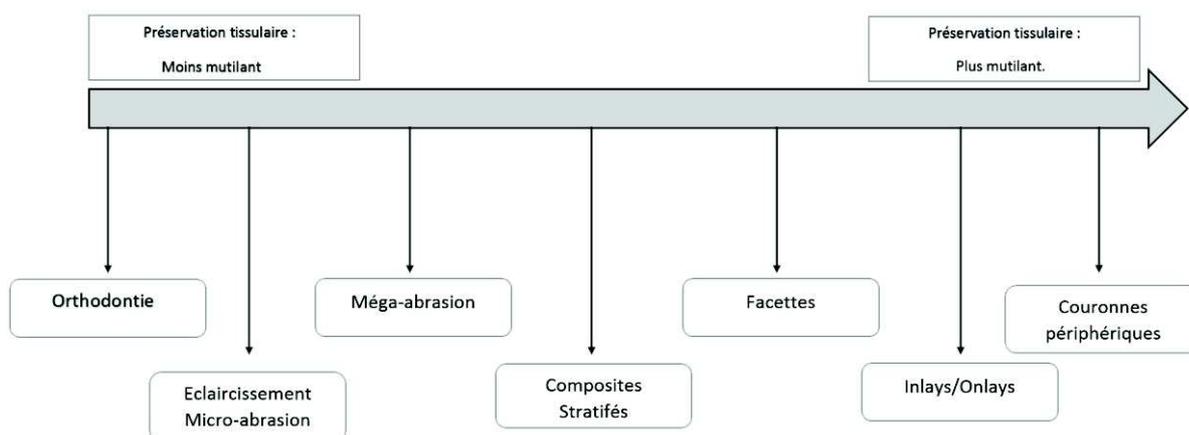


FIGURE I- 1 LE GRADIENT THERAPEUTIQUE APPLIQUE AUX DENTS ANTERIEURES (D'APRES (1)).

Différentes suggestions de classification ont été proposées (7-9). Ces classifications ont pour objectif principal de distinguer les différentes étiologies conduisant à la réalisation de facettes et justifiant ainsi leurs indications.

Parmi ces classifications, la classification proposée par Urs Belser, Pascal et Michel Magne, est actuellement la plus utilisée (8).

La classification modifiée ci-après est basée sur cette proposition, avec, en plus, quelques sous- types et un type supplémentaire (type IV).

A. Type I : Amélioration / corrections de couleur

1. Type IA : Colorations dues aux tétracyclines de degré 3 et 4.

Entre le 4ème mois in-utero (correspondant à la phase de minéralisation des incisives temporaires) et 8 ans (correspondant à la phase de minéralisation coronaire de la 2eme molaire permanente), la prise de tétracycline induit des colorations permanentes et indélébiles. Ces colorations peuvent varier en fonction de la nature de la tétracycline (10).

Ces colorations, de couleurs variables, se présentent sous la forme de bandes diffuses. Elles sont cliniquement distinguées selon leur degré de sévérité (TABLEAU I - 1).

Degrés	1	2	3	4
Type de coloration	Uniforme Légère Sans bande	Uniforme Moyenne Sans bandes	Irrégulière Forte bandes	Bandes/ plages Irrégulières. Très forte.
Couleur	Jaune-marron clair Peu saturée	Jaune-marron clair/ Gris léger Assez saturée.	Gris-marron / Bleu-violet Très saturée	Gris foncé à marron ou violet foncé. Très saturée.
Traitement chimique	Possible Excellent résultat	Possible Bon résultat.	Difficile Résultat peu satisfaisant.	Impossible Mauvais résultat.
Traitement prothétique	Non nécessaire.	Non nécessaire.	Envisageable	Obligatoire.

TABLEAU I - 1 : CLASSIFICATION DE BOOKSMANN ET JORDAN DES COLORATIONS DUES A LA TETRACYCLINE.

2. Type IB : Dents réfractaires à éclaircissement externe.

Si les traitements moins invasifs, tels la micro-abrasion, l'éclaircissement par peroxyde d'hydrogène ou peroxyde de carbamide ne donnent pas satisfaction, la facette peut être indiquée.

a) Fluorose de type III (avec porosité).

Au même titre que les tétracyclines, l'administration de fluor en trop grande quantité, entre le 4ème mois in-utero et la 8ème année de vie, peut entraîner l'apparition de taches blanches et de colorations brunes (11). Ceci est dû à une altération métabolique des améloblastes.

La Fluorose peut prendre différents aspects. En 1987, Feinman et coll. ont proposé une classification en 3 catégories (11) :

- Fluorose simple (classe 0 à 2) : Email lisse, absence de défauts de l'email. Présence de taches ou plages brunes.

Dans cette catégorie, les méthodes d'éclaircissement chimique sont recommandées afin de faire disparaître ces taches.

- Fluoroses opaques (classes 3 à 5) : Pigmentations blanchâtres, généralement superficielles.

Les méthodes d'éclaircissement chimique sont toujours efficaces.

- Fluorose avec porosités (classes 6 à 9) : Colorations associées à des défauts de l'émail (porosités de tailles variables jusqu'à disparition de l'email) (10).

Dans ce cas, un éclaircissement conventionnel ne suffit pas. La confection de facette trouve tout à fait sa place, lorsque la surface amélaire est encore suffisante (supérieure à 50%).

Il est important de noter que la valeur d'adhésion sur cet émail pathologique, s'il est préalablement préparé, est comparable à celle d'une dent saine, exempte de pathologie (12, 13).

En revanche, un protocole clinique sans préparation (concept « noprep »), conservant l'émail superficiel pathologique, n'est pas conseillé.

- b) Oblitération canalaire post-traumatique avec conservation de la vitalité pulpaire.

Lors d'un traumatisme dentaire, une légère hémorragie peut survenir au niveau de la pulpe. Cette dernière peut réagir en produisant une quantité importante de dentine réactionnelle, pouvant aboutir à l'oblitération totale du contenu canalaire. Ce phénomène modifie les propriétés optiques de la dent, rendant sa couleur plus saturée et plus opaque.

Il convient de faire la distinction entre une coloration orangée, causée par la dentine réactionnelle, et une coloration plus grisâtre, due aux produits de dégradation de l'hémoglobine (7).

En l'absence d'image radiologique objectivant une pathologie péri-apicale, il convient de considérer la dent vitale, bien qu'elle ne réponde pas positivement aux tests de vitalité pulpaire (10).

La bonne santé des tissus périradiculaires et l'absence de symptomatologie contre-indiquent la réalisation d'un traitement endodontique (14).

La facette peut être une solution thérapeutique, après tentatives d'éclaircissements chimiques externes. En effet, ces derniers semblent présenter des résultats peu probants, aléatoires voire inefficaces (7, 10).

B. Type II : Corrections de forme.

1. Type II A : Dents riziformes.

Les dents riziformes ou conoides font partie des anomalies de forme ayant une origine génétique.

Elles touchent les incisives latérales maxillaires le plus fréquemment et sont parfois associées à une agénésie de l'incisive contro-latérale, dans 38,8% des cas (15, 16).

L'agénésie d'une ou plusieurs dents représente l'anomalie de développement la plus fréquente, avec une prévalence variant selon les auteurs entre 2,6% et 11,3% (à l'exception de l'agénésie de la dent de sagesse qui représente 30% de la population) (17).

Dans le cas d'agénésies, les dents les plus fréquemment atteintes sont les deuxièmes prémolaires mandibulaires (40% des agénésies) suivies des incisives latérales maxillaires (23% des agénésies) (18). L'agénésie congénitale de l'incisive latérale

maxillaire représente une part non négligeable de la patientèle d'un cabinet dentaire, puisqu'elle concerne 1,55 à 1,78% de la population (18).

Le diamètre mésio-distale est réduit, mais la dent présente tout de même une configuration idéale pour la thérapeutique par facettes collées qui nécessitera une préparation légère de la surface, à l'exception des limites qui doivent être des plus claires et définies (8).

Dans ce cas particulier, il est primordial d'anticiper, en fonction du profil d'émergence souhaité, la limite cervicale de la préparation, soit en décidant de réaliser une limite cervicale sous-gingivale, soit en procédant à une élongation coronaire (19). Une mauvaise décision peut entraîner un résultat esthétique disgracieux (20).

2. Type IIB : Fermeture des diastèmes et des triangles noirs inter-dentaires.

Afin de réduire ou de fermer les diastèmes et les pertes papillaires générant des triangles noirs inter-dentaires, les facettes peuvent être la solution de choix.

A nouveau, l'anticipation du positionnement de la limite cervicale, afin d'obtenir un profil d'émergence optimal, est également primordiale (21).

L'alternative à la réalisation de facettes est la réalisation de restaurations directes de type composite (22). Mais ces dernières ne permettent pas un contrôle aisé de la forme, ainsi que du profil d'émergence et de l'adaptation cervicale (8).

3. Type IIC : Allongement des bords libres courts.

L'allongement des bords libres usés ou fracturés par des méthodes de restauration directe, est un véritable défi pour tout praticien. Afin d'obtenir un meilleur résultat, la réhabilitation par facettes est à privilégier (8). Celui-ci assure une résistance mécanique supérieure et optimise le rendu esthétique.

Dans ce cas, une analyse complète préalable de la fonction occlusale doit être entreprise et l'étiologie de ces usures, pouvant mettre en péril des restaurations indirectes, doit être déterminée afin d'être prise en charge (20).

En effet, Il convient de distinguer les pertes dentaires dues à un excès de serrage inter-arcades dento-dentaires des pertes dentaires causées par une composante chimique exogène (alimentation) ou endogène (reflux gastro-oesophagien, anorexie-boulimie par exemple) (20).

Si la cause des usures n'est pas prise en charge, les restaurations ne peuvent être considérées comme pérennes et durables.

De plus, une réflexion sur l'ensemble des arcades dentaires est à entreprendre, car des usures rapides du secteur esthétique sont souvent associées à une perte de dimension verticale. Dans ce cas, la restauration de la dimension verticale doit être effectuée avant d'entreprendre le traitement esthétique du secteur antérieur.

C. Type III : Anomalie de structure et restauration de grandes étendues.

1. Type IIIA : Fractures coronaires étendues.

Lors de la survenue d'un traumatisme dentaire entraînant une fracture coronaire étendue, le maintien de la vitalité de la dent s'impose en premier lieu.

Dans le cas d'un jeune patient, il est préférable de procéder à la réalisation d'une restauration directe par une résine composite. Si la demande esthétique est justifiée et motivée, la restauration pourra être reprise en fin d'adolescence.

La réhabilitation par facette est indiquée dans ce cas, tout en sachant qu'une augmentation du risque de fracture de l'artifice prothétique est à mettre en relation avec l'importance de la perte de substance dentaire (2, 4, 23).

2. Type IIIB : Perte d'émail de grande étendue par phénomène d'usure et/ou érosion.

Cette situation peut s'avérer complexe à réhabiliter.

En fonction de la quantité d'émail encore disponible, les facettes peuvent être une alternative de choix aux couronnes périphériques (6).

La quantité d'émail disponible est un facteur décisif. Il est nécessaire d'avoir une quantité de plages d'émail suffisante, afin d'avoir un collage satisfaisant.

Même si aucune valeur n'a été définie scientifiquement, certains auteurs avancent que la surface de collage dentinaire ne devrait pas excéder 50% de la surface totale (4, 20), au risque de voir les valeurs d'adhérence se réduire et afin de limiter tout risque de dégradation du polymère de collage (par micro-infiltrations) (4, 23, 24). De plus, les limites (cervicales et proximales) de la préparation doivent se situer idéalement sur une surface amélaire (23, 25).

Pour ce faire, il est préconisé de respecter les protocoles de préparation à travers les masques, proposés par G.Gurel (3, 26).

Dans ces situations, à nouveau et afin d'assurer la pérennité des restaurations indirectes, d'éventuelles parafunctions associées doivent être recherchées et prises en charge préalablement (27).

3. Type IIIC : Malformations acquises et congénitales de l'émail.

Les malformations sont principalement représentées par les amélogénèses imparfaites. L'amélogénèse imparfaite a une origine syndromique ou génétique. Par mutation de gènes codant certaines protéines amélaire ou protéases, elle constitue un groupe d'anomalies du développement de l'émail.

En 1988, la Classification de Witkop a permis de différencier les formes d'amélogénèse imparfaite (28).

Les facettes sont indiquées dans le:

- Type I, la forme hypoplasique. Elle se rencontre dans 60 à 70% des cas. La dent, de teinte jaune brunâtre, peut présenter des puits et des sillons ou bandes. L'émail est présent en quantité insuffisante voire inexistante,
- Type II, la forme hypomature. Elle se rencontre dans 20 à 40% des cas. L'émail peut revêtir un aspect blanc crayeux, faisant penser à une fluorose. Il est protecteur et relativement dur,
- Type III, la forme hypocalcifiée. Elle se rencontre dans 7% des cas. L'émail mou est d'épaisseur normale, de couleur brun-jaune.

Les facettes sont indiquées dans ces trois types d'affections car l'émail est stable, et le risque de le voir se déliter sous l'artifice prothétique est faible voire inexistant (8, 9, 20). Une attention particulière est à porter lors du mordantage de la surface dentaire fragilisée, car celui-ci réduit les valeurs de rétention par micro-clavetage de collage (20).

D. Type IV : Corrections et/ou atténuations des malpositions dentaires.

Les malpositions dentaires chez l'adulte restent une problématique qui doit être gérée en première intention par la thérapeutique orthodontique (1, 20).

Cependant, en cas de refus d'un traitement orthodontique par le patient, certaines situations cliniques peuvent bénéficier avantageusement de restaurations par facettes collées (4, 29, 30).

Une analyse approfondie de la situation initiale doit être entreprise, et une réflexion commune avec le patient engagée. Dans certains cas, tant sur le plan esthétique que sur le plan fonctionnel, il est préférable de conserver ou d'atténuer une malposition plutôt que de rechercher absolument un alignement parfait.

Dans ce type d'indications, la préparation des dents en malposition entraîne presque inévitablement une exposition dentinaire et donc des surfaces de collage variées.

II. Contre-indications des facettes.

Le fait de poser les indications d'un traitement par facettes en céramique collées, permet d'anticiper et surtout de mettre en exergue les contre-indications d'un tel traitement prothétique. Une analyse clinique de plusieurs paramètres permet de les détecter. Ces contre-indications peuvent être relatives ou formelles.

A. Malocclusions et contraintes occlusales.

Dans le cas d'une malocclusion associée à une forte pression occlusale, le traitement par facettes est une contre-indication de principe (20).

De la même manière, même si ce n'est pas une contre-indication formelle, pour un articulé en bout à bout incisif ou un articulé inversé, car il est susceptible d'induire des contraintes et des forces occlusales trop importantes et délétères.

L'intensité de la force occlusale développée par le patient doit être explorée, car c'est elle qui va formaliser ou non les contre-indications.

Le bruxisme, situation parafunctionnelle entraînant l'usure progressive et pathologique des secteurs cuspidés et antérieurs, doit nécessiter une prise en charge thérapeutique. Cette prise en charge doit se faire de manière globale. En effet, seul le rétablissement d'un calage postérieur adéquat et pérenne permet d'envisager une réhabilitation esthétique des secteurs antérieurs. La réhabilitation esthétique par facettes collées, dans le cas de bruxomanie, constitue une contre-indication relative. En effet, le risque de décollement ou de fracture de l'artifice prothétique (4, 5, 31), et un taux d'échec

augmenté (jusqu'à 7 fois plus élevé) ont été rapportés dans les études cliniques publiées à ce jour (32).

Par ailleurs, lorsque les contraintes occlusales sont maîtrisées et jugées acceptables, il est toutefois impératif, voire obligatoire, de compléter le traitement par une gouttière de protection nocturne (20). Enfin, une hauteur maximale de 2mm de céramique non soutenue doit être respectée, afin de respecter les propriétés mécaniques (20).

B. Quantité et nature des tissus dentaires résiduels.

Les pertes de substance amélaire d'origine non carieuse et non traumatique associent des facteurs mécaniques et chimiques (33, 34).

Un brossage trop agressif et ne respectant pas la méthodologie conseillée (abrasion) ainsi que les pertes de substance par contact dento-dentaire interarcades (attrition), font partie des facteurs mécaniques.

Les troubles alimentaires, la boulimie et l'anorexie, sont, quant à eux, des facteurs chimiques de pertes de substance amélaire non carieuse et non traumatique. L'acidité extrinsèque (alimentaire) ou intrinsèque (régurgitations acides) sont responsables de l'érosion de l'émail et peuvent atteindre la dentine dans certains cas.

Une perte de substance trop importante constitue, à elle seule, une double contre-indication (20) : contre-indication liée au collage de moins bonne qualité, s'il s'agit d'un collage dentinaire ou mixte par rapport à un collage amélaire pur, et contre-indication liée au risque de dégradation de la colle par micro-infiltration en cas de limite dentinaire (6, 23, 24) ou due à la résistance mécanique.

En cas de perte de tissus dentaires nécessitant une hauteur de céramique non soutenue par l'émail supérieure à 4mm, les facettes collées ne sont plus indiquées (4, 5, 23). Une préparation périphérique, afin d'accueillir une restauration indirecte, semble alors préférable afin de profiter d'un ancrage mécanique supplémentaire (20).

C. La couleur.

Plus la couleur du substrat dentaire est saturée, plus la facette doit être épaisse afin de masquer la dyschromie. En effet, dans le cas d'une dent fortement dyschromiée et insuffisamment préparée, le résultat final paraît décevant (2, 4).

Pour masquer cette dyschromie, les alternatives visant à augmenter l'épaisseur de céramique imposent:

- de retirer une couche plus importante d'émail, avec pour conséquence une exposition dentinaire et de réduire par conséquent la capacité de collage,
- de créer un sur-contour gingival.

Pour modifier et atténuer des colorations importantes, un traitement préalable, l'éclaircissement, doit être envisagé et réalisé (4), si celui-ci peut être efficace. De plus, l'utilisation d'armature en céramique, moins translucide, peut également être une solution, en gardant à l'esprit que le rendu esthétique final sera moins naturel (20).

D. Tabagisme

Le tabagisme est une contre-indication relative.

Le risque de coloration marginale est, chez un patient fumeur, significativement plus élevé que chez un patient non-fumeur (32).

E. Le parodonte

Sur un parodonte avec des dents ayant un pronostic défavorable à court terme, le traitement par facettes est contre-indiqué (5). En effet, un parodonte affaibli expose la

dentine radulaire et un composite de collage localisé au niveau de la dentine radulaire s'expose à une micro-infiltration plus élevée que dans l'émail (3, 23).

F. Le manque d'hygiène bucco-dentaire.

Un manque d'hygiène, associé à des polycaries, constitue une contre-indication relative. Un enseignement ou une rééducation à l'hygiène bucco-dentaire ainsi que le traitement des caries sont des préalables à l'amélioration du contexte (20).

G. Les malpositions majeures.

Dans le cas de malpositions dentaires majeures, un traitement orthodontique est un préalable indispensable. Une dent présentant un axe trop déviant risque d'exposer trop profondément la dentine lors de sa préparation (4).

III. Formes et protocoles de préparation pour facettes en céramique collées.

A. Avant-propos.

De la qualité de la préparation initiale, de sa reproduction par une empreinte et de la céramique, dépend la bonne intégration parodontale des facettes en céramique collées (20).

Il paraît donc évident que le choix des instruments (rotatifs, ultrasoniques,) est une étape également importante pour une bonne réalisation clinique (35).

Une mise en condition préalable est parfois nécessaire, permettant et assurant la bonne réussite d'un traitement par facettes de céramique collées (20). Elle fait appel principalement à :

- l'éclaircissement : ce dernier peut intéresser les dents recevant les facettes et également les dents environnantes. En tant que traitement associé, l'éclaircissement doit être réalisé 6 à 8 semaines avant la séance comportant la préparation et l'empreinte des préparations pour facettes. Ce délai a pour but de stabiliser le résultat obtenu à l'éclaircissement et permettre ainsi l'intégration optimale des futures facettes dans le sourire dans sa globalité,
- la gingivectomie simple : un défaut d'alignement, de symétrie de la ligne des collets peut conduire à réaliser diverses interventions si l'impact esthétique est important. Si l'impact esthétique de ce défaut n'est pas important ou caché (ligne du sourire basse), ce défaut peut être conservé.

Une analyse rigoureuse préalable, à l'aide d'un protocole photographique, permet de donner des informations importantes sur la composante dentaire et également gingivale.

L'utilisation d'un logiciel informatique, permettant de simuler et d'appréhender les futures modifications, peut aussi être avantageusement recommandée.

Différentes formes de préparations ont été proposées et sont envisageables (3, 20, 23, 32) :

- préparation fenêtrée (window prep),
- préparation avec réduction du bord libre sans retour palatin (butt margin),
- préparation avec réduction du bord libre et retour palatin (incisal overlap),
- sans préparation (no prep),

A l'heure actuelle, il n'existe que peu de critères objectifs permettant d'orienter ce choix (20). L'association des nécessités esthétiques cliniques et des composantes

mécaniques de contraintes semblent toutefois conclure à une recommandation pour la forme avec réduction du bord libre sans retour palatin.

B. Procédure clinique.

1. La gestion de la profondeur de la préparation, pénétration contrôlée et préparation à travers le masque esthétique.

La présence d'une surface de collage constituée totalement d'émail constitue un critère déterminant du succès à long terme des facettes (25). En effet, le collage amélaire est supérieur au collage dentinaire, de par la très grande différence de nature des deux substrats (36, 37).

Néanmoins, l'épaisseur d'émail varie en fonction de sa position corono-cervicale (7, 20, 24, 38).

La profondeur de pénétration ne doit pas excéder 0.5mm dans l'émail (39), et il est conseillé de ne retirer que 0.4mm d'émail dans le tiers cervical de la dent à préparer (40).

Afin de limiter l'apparition de plages de dentine, et de contrôler la profondeur de pénétration, un protocole de préparation a été proposé par G.Gürel (3, 26).

Sa méthodologie, simple mais rigoureuse (41), associe l'utilisation d'une fraise à butée d'enfoncement, permettant la maîtrise de la profondeur d'enfoncement, et les principes de réduction a *minima*, prenant en compte le volume et la forme finale des restaurations.

La procédure comporte trois étapes (26, 42) :

- *Etape 1 : Le projet esthétique et la céroplastie (wax-up).*

Une restauration à visée esthétique ne doit pas être entreprise sans une analyse esthétique qui répond à des procédures bien définies (43, 44).

De cette analyse va découler une proposition initiale, qui sera retranscrite en bouche. Cette représentation du projet final peut se faire directement à l'aide de composite, soit de manière virtuelle à l'aide de logiciels tel que Smile designer ou Photoshop (45, 46). Un modelage sommaire des changements envisagés est réalisé à l'aide d'une résine composite sans adhésif, appliquée directement sur les dents préalablement séchées. Cette modification représente le masque esthétique direct (direct mock-up).

Après validation par le patient, une photographie de la situation envisagée et une empreinte permettent au prothésiste de réaliser le wax-up de manière plus fine.

Le wax-up sera ensuite dupliqué en plâtre, puis enregistré à l'aide d'une empreinte en double mélange à l'aide de silicone ou d'une gouttière thermoformée.

- *Etape 2 : La réalisation du masque esthétique (mock-up).*

L'empreinte obtenue à l'aide du wax-up est ensuite remplie de résine temporaire bis-acryl et insérée en bouche, par-dessus les dents. Après polymérisation, l'empreinte peut être désinsérée délicatement et conservée pour la suite des étapes. Le masque esthétique recouvrant les dents va permettre au praticien et au patient de valider le projet retenu. En cas de doute, le patient peut partir du cabinet, masque esthétique en place, afin de recueillir l'avis de son entourage sur son nouveau sourire.

- *Etape 3 : La préparation à travers le masque esthétique.*

Après validation du projet esthétique par le patient, le masque est reproduit en bouche (à l'aide de résine composite bis-acryl et de l'empreinte en silicone).

Le masque esthétique est ensuite laissé en place après polymérisation afin de réaliser les préparations à travers celui-ci.

La première étape des préparations est initiée par l'utilisation de fraises à butée d'enfoncement, selon les axes de la dent et en respectant sa convexité.

Le choix du diamètre des fraises se fait en fonction du type de matériau choisi, ainsi que de l'importance de la dyschromie à masquer.

Ensuite, la préparation se poursuit par le marquage de la limite cervicale à l'aide d'une fraise boule de fin diamètre, à long mandrin, plaqué sur la face vestibulaire (47).

Une ébauche de la réduction occlusale est ensuite réalisée, en faisant des rainures de 1 à 1.5mm de profondeur (20).

Avant la dépose du masque, les rainures obtenues sont marquées au crayon de papier.

Le masque est ensuite déposé, et les préparations sont finies.

Cette technique de préparation s'applique parfaitement lorsqu'un apport en volume est nécessaire.

Cas particuliers où une ou plusieurs dents sont en malposition vestibulaire :

Dans ce cas, une préparation préalable doit être entreprise afin de permettre la bonne mise en place de l'empreinte remplie de résine.

Cette préparation préalable doit être la moins invasive possible. Pour ce faire, l'utilisation de clés en silicone est recommandée, afin de contrôler la profondeur de préparation (20, 26).

2. La limite cervicale

Les facettes en céramique collées présentent, dans la plupart des cas, une limite cervicale se situant en supra-gingival, et suivant le feston gingival.

Cette situation s'explique par le fait que la facette présente un joint céramique-dent et une adaptation esthétique de qualité de par son effet photomimétique avec les tissus dentaires environnants (9, 21, 39).

Cas particuliers des dyschromies sévères :

Une limite cervicale supra-gingivale risque de rendre le résultat esthétique disgracieux du fait des différences chromatiques(20).

Dans ces cas, il est préférable d'enfourer la limite cervicale en position infra-gingivale, tout en veillant à garder une limite amélaire, qui sera compatible avec les impératifs du collage.

Cas des dents conoïdes et/ou fermeture de diastème :

Dans ces cas, il est parfois préférable de placer la limite cervicale en juxta ou infra-gingivale(21), afin de permettre un bon profil d'émergence de la future restauration.

Dans les situations les plus critiques, le recours à une élongation coronaire peut être envisagé également (19).

3. Les limites proximales

A l'instar des restaurations prothétiques périphériques , qui présentent un axe d'insertion coronaire (48), les facettes en céramiques collées possèdent un axe d'insertion antéropostérieur (dans la grande majorité des cas) (39).

La réalisation des limites cervicales se fait avec la fraise à congé utilisée pour réaliser la réduction de la face vestibulaire, en veillant à protéger les dents adjacentes à l'aide d'une bande matrice métallique.

De plus, afin de protéger les dents adjacentes non préparées et non concernées, l'utilisation d'une fraise à mandrin non travaillant peut être judicieuse.

Remarques concernant les contacts proximaux :

Il est souhaitable, quand la situation le permet, de conserver les surfaces de contacts, et ceci pour les raisons suivantes :

- le laboratoire de prothèse n'est pas obligé de les recréer ;
- diminution du nombre de réglages spécifiques à effectuer à ce niveau lors de l'étape de collage ;
- maintien de la stabilité des dents naturelles.

Le toboggan ou extension gingivo-proximale :

Afin d'assurer la non visibilité de la restauration en vue latérale, la limite de la préparation est marquée au plus près de la papille inter-dentaire. Cette sorte de concavité vestibulo-linguale permet le masquage d'un triangle de substrat dentaire en vue latérale.

4. La réduction du bord libre

Afin de recréer les caractérisations de la dent et sa translucidité naturelle, il est parfois nécessaire, de réduire le bord incisif.

Cette réduction est de l'ordre de 1 à 1.5 mm et ne doit pas dépasser 4 mm, pour des raisons de résistance mécanique de la céramique (5, 23, 38, 40).

5. Finitions

L'objectif de cette étape est d'obtenir une finition la plus lisse possible, sans « becs », qui permettra l'obtention d'une empreinte de meilleure qualité, sans déchirement.

Pour ce faire, un fil de rétraction gingivale, non imprégné, est inséré dans le sulcus, puis la préparation est lissée en utilisant des fraises de faible granulométrie (bague rouge) puis de très faible granulométrie (bague jaune). Le recours à des inserts ultrasonores hémisphériques peut s'avérer opportun (21, 49).

Les surfaces de contacts proximales sont lissées à l'aide de strips à polir de faible granulométrie (rouge) (38).

C. Les différentes formes de préparations.

1. Préparation fenêtrée (Window préparation)

Généralités:

C'est la plus ancienne des formes de préparation pour facettes en céramique collées(50).

Seule la face vestibulaire est concernée, avec une réduction amélaire homothétique comprise entre 0.3 et 0.5 mm.

Le bord incisif n'est pas intéressé par cette préparation.

Avantages:

- Economie tissulaire.
- Taux de micro-infiltration faible(51).

Inconvénients :

- Impossibilité de modification de la morphologie de la dent dans le sens transversal et vertical.
- Impossibilité de masquer les dyschromies sévères dans la zone coronaire.
- Possibilité d'écaillage de l'émail, au niveau du bord libre, par fatigue cyclique

2. Préparation avec réduction du bord libre sans retour palatin (Butt Margin)

Généralités :

Une réduction de 1.5 mm du bord occlusal est effectuée. La limite est plate à 90° par rapport à l'axe de la dent, avec un angle droit arrondi externe (20).

Cette préparation possède deux axes d'insertion : vestibulaire et coronaire.

Avantages :

- Possibilité de modification de la forme de la dent dans le sens vertical et transversal.
- Possibilité de masquage des colorations.

Inconvénients :

- Incision proscrite lors de la phase de temporisation.

3. Préparation avec réduction du bord libre et retour palatin (Incisal overlap)

Généralités :

Le bord libre est réduit de 1.5 mm et la préparation englobe une partie de la face palatine.

La limite, au niveau palatin, est de type congé, en veillant à rester dans l'émail.

Avantages :

- Possibilité de modification de la forme de la dent dans le sens vertical et transversal.
- Possibilité de masquage des colorations.
- Axe d'insertion coronaire exclusivement.

Inconvénients :

- Zone de fragilité au niveau du retour palatin.

4. Facette sans préparation (no prep)

Généralités :

Cette nouvelle technique repose sur les techniques de conception et de fabrication par ordinateur (CAO/FAO).

Avantages :

- Technique non invasive.
- Gain de temps

Inconvénients :

- Surcontours gingivaux et proximaux, créant des irritations gingivales et une mauvaise adaptation marginale.
- Risque d'imprécision lors de la mise en place et du collage de la facette.
- Collage aléatoire (51).
- Projet esthétique ne modifiant que peu la forme des dents et ne pouvant pas masquer des dyschromies importantes.

IV. Formes de préparation et restaurations directes préexistantes.

Il est communément admis que la présence d'une restauration directe préexistante de classe III, oblige le praticien à effectuer une préparation qui l'englobe entièrement. Cette règle a pour but de ne pas générer de limite céramique-composite et de réduire les déformations (52). Cette règle communément établie, a l'inconvénient d'être moins économe en tissus et oblige parfois à effectuer un retour palatin (**Figure I- 2 et Figure I- 3**) (52).



FIGURE I- 2 : PREPARATIONS POUR 4 FACETTES EN CERAMIQUE. NOTEZ LA PRESENCE DE COMPOSITE DE CLASSE III (DOCUMENT DU DR O. ETIENNE).



FIGURE I- 3 : PREPARATIONS POUR 6 FACETTES EN CERAMIQUE (DOCUMENT DU DR O. ETIENNE).

V. Taux de survie clinique.

En fonction des études cliniques (Tableau I - 2), le taux de survie varie, mais reste tout de même excellent, en comparaison des techniques plus invasives (53).

Auteurs/année de publication	Nombre d'échantillons	Taux de survie constatée
Nordbo H. et al. / 1994 (54)	135	100 % à 3 ans.
Kihn P. et al. / 1998 (55)	59	100 % à 2 ans
Meijering A. et al. / 1998 (56)	180	94 % à 2,5 ans
Magne P. et al. / 2000 (57)	48	100 % à 4,5 ans
Peumans M. et al. / 2004 (58)	87	94 % à 10 ans
Fradeani M. et al. / 2005 (58, 59)	182	94,4 % entre 6 et 12 ans
Du R. et al. / 2009 (60)	310	76.3 % à 8 ans
Beier U. et al. / 2012 (32)	318	82.93 % à 20 ans
D'arcangelo C. et al. / 2012 (61)	119	97.5 % à 7 ans
Gürel G. et al. / 2012 (25)	580	93 % à 12 ans
Rinke S. et al. / 2013 (62)	130	95 % à 3 ans
Ozturk E. et al. / 2014 (63)	125	91.2 % à 2 ans

TABLEAU I - 2 : ETUDES ANALYSANT LE TAUX DE SURVIES DES FACETTES.

Cet excellent taux de survie est expliqué par la conjugaison de plusieurs critères de succès :

- La forme de la préparation.
- Le système de collage utilisé lors de l'assemblage.
- La nature des surfaces dentaires de collage et l'importance de l'exposition dentinaire.
- L'expérience du praticien.

A. Facteurs influençant le taux de survie des facettes en céramiques collées.

1. La forme de la préparation :

Shetty et coll. en 2011 (51), ont réalisé une méta-analyse afin de relever le taux de survie des facettes en céramique constaté dans les différentes études cliniques . Leurs sources proviennent de BITTORENT, MEDLINE, ainsi que d'autres bases de données.

Grâce à cette étude, Shetty et coll. ont pu extrapoler un taux de survie à 10 ans en fonction du type de préparation (51).

a) Préparation fenêtrée (= Window préparation).

Auteurs / année de publication	Nombre de facettes étudiées	Taux de survie ; durée du suivi.
Strassler et co. / 1989 (64)	291	98.3 % ; de 1,5 à 4 ans.
Kihn P. et Barnes D. / 1998 (55)	59	100 % ; 4 ans.

TABLEAU I - 3 : TAUX DE SURVIE DES FACETTES EN CERAMIQUE AVEC PREPARATION TYPE FENETREE.

Shetty et coll ont extrapolé un taux de survie d'environ 89 % à 10 ans (51).

b) Préparation par recouvrement incisif sans retour palatin (= Butt Margin).

Auteurs / année de publication	Nombre de facettes étudiées	Taux de survie ; durée du suivi
Calamia / 1989 (65)	72	95.9 % ; de 2 à 3 ans.
Jager / 1995 (66)	80	99 % ; de 1 à 7 ans.
Peumans / 1998 et 2004 (58, 67)	87	93 % ; de 5 à 6 ans.

TABLEAU I - 4 : TAUX DE SURVIE DES FACETTES EN CERAMIQUE AVEC PREPARATION TYPE BUTT MARGIN.

Shetty et coll. ont extrapolé un taux de survie de 90 % à 10 ans (51).

c) Préparation par recouvrement incisif et retour palatin (= Incisal Overlap).

Auteurs / année de publication	Nombre de facettes étudiées	Taux de survie ; durée du suivi.
Calamia / 1989 (65)	72	95.9 % ; de 2 à 3 ans.
Gilmour / 1993 (68)	200	Non significatif ; de 1 à 30 mois.
Jager / 1995 (66)	80	99 % ; de 1 à 7 ans.
Fradeani / 1998 (69)	83	100 % ; de 1 à 6 ans.
Peumans / 1998 (58, 67)	87	93 % ; de 5 à 6 ans.
Kihn / 1998 (55)	59	96.6 % ; 4 ans.
Magne / 2000 (57)	48	100 % ; de 4 à 5 ans.
Sieweke / 2000 (70)	36	76 % ; de 1 à 6,5 ans.
Aristidis et Dimitra / 2002 (71)	186	98.4 % ; 5 ans

TABLEAU I - 5 : TAUX DE SURVIE DES FACETTES EN CERAMIQUE AVEC PREPARATION TYPE INCISAL OVERLAP.

Shetty et coll. ont extrapolé un taux de survie de 93 % à 10 ans (51).

d) Sans préparation (=no preparation).

Auteurs / année de publication	Nombre de facettes étudiées	Taux de survie ; durée du suivi.
Calamia / 1989 (65)	43	100 % ; 3 ans
Strassler et Weiner / 1995 (72)	115	93 % ; de 7 à 10 ans.
Shaini / 1997 (73)	372	50 % ; 6,5 ans.
Strassler et Wener / 2001 (74)	183	96 % ; de 12 à 190 mois.

TABLEAU I - 6 : TAUX DE SURVIE DES FACETTES EN CERAMIQUE AVEC PREPARATION TYPE « NO PREP »

Shetty et coll. ont extrapolé un taux de survie de 56 % à 10 ans (51).

2. L'assemblage.

L'étape d'assemblage est une étape cruciale sur le chemin de la réussite des traitements esthétique par facettes céramique collées.

De par la forme non rétentive de la préparation, le collage d'une facette se doit d'être le plus optimal possible.

La connaissance des matériaux, dentaire et prothétique, à assembler, ainsi que la connaissance et la bonne utilisation des systèmes de collage et la bonne réalisation du protocole d'assemblage sont essentiels afin de s'assurer un excellent résultat esthétique et fonctionnel

a) Les surfaces de collage dentaires et l'influence de l'exposition dentinaire sur l'adhésion.

Il est convenu, de manière générale, que les préparations pour facettes doivent être exclusivement amélares. Cependant, certaines situations cliniques (dents en malposition, usure) rendent l'exposition dentinaire inévitable.

- L'émail :

Il se compose d' :

- une phase minérale (cristaux de phosphate de calcium $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ou d'hydroxyapatite) : représente 96% du poids et 87% du volume,
- une phase aqueuse intraprismatique présente sous forme liée à hauteur de 2.4% du poids tissulaire et également sous forme libre 1%,
- une phase organique qui représente 0.4 % du poids.

Les cristaux d'hydroxyapatite s'organisent sous forme de prismes, ces prismes formant ensuite des bâtonnets allant de la jonction amélo-dentinaire en direction de la surface et perpendiculairement à celle-ci. Entre les prismes se trouve la substance interprismatique.

Une mince couche d'émail, de 30 μm , aprismatique, se trouve en surface (20).

- La dentine

Elle se compose d' :

- une phase minérale constituée d'hydroxyapatite qui représente 70 % du poids tissulaire,
- une phase organique qui représente 18 % du poids tissulaire. Cette phase est composée de fibres de collagène entourées d'une matrice inorganisée minérale,
- une phase aqueuse qui représente 12 % du poids.

La phase hydrique ou aqueuse est soumise à une pression constante (40 mbars) en direction de la jonction amélo-dentinaire (20), ce qui confère une humidité permanente à la surface dentinaire.

L'exposition dentinaire doit rester exceptionnelle dans le cadre de préparation pour facettes (3, 20, 25, 26, 41, 47).

Mais certaines situations cliniques rendent l'exposition de dentine inévitable.

Plusieurs auteurs ont mis en évidence cet aspect dans leurs publications :

Burke, en 2012, a réalisé une revue de la littérature (75). Ces études analysées proviennent de la base de données Cochrane Central Register et de Pubmed MEDLINE entre 1991 et Juin 2011 (54-56, 58, 59, 67, 69, 71, 73, 76-90).

Dans sa revue de la littérature, Burke met en évidence le rôle important de l'étendue de l'exposition dentinaire ainsi que sa localisation au sein de la préparation, sur le collage et sa pérennité (75).

Gürel, lui aussi, a réalisé une étude clinique, sur 12ans, dans le but d'évaluer la pérennité de 580 facettes en céramique collées (Tableau I - 7). De cette étude clinique, Gürel a conclu que l'exposition dentinaire est une source de complication et un facteur d'échec important (25).

En 2014, Ozturk a publié une étude clinique portant sur 125 facettes en céramique dont le suivi a été réalisé sur 2ans (63). Ozturk en a aussi conclu qu'en cas d'exposition dentinaire importante, les facettes en céramique collées sont plus sujettes aux complications et aux échecs.

Surface de collage/ exposition dentinaire	Nombre de facettes	Nombre d'échecs	Motifs de complications
Surface amélaire exclusivement	467	6	Fracture Ecaillage
Exposition dentinaire et limite de préparation amélaire	85	11	Fracture Ecaillage Micro-infiltration
Exposition dentinaire et limite de préparation dentinaire	28	25	Fracture Ecaillage Micro-infiltration Carie secondaire Sensibilité post-opératoire Inflammation/nécrose pulpaire.

TABLEAU I - 7 : ETUDE CLINIQUE PORTANT SUR LE NOMBRE D'ECHECS DES FACETTES EN CERAMIQUES COLLEES EN FONCTION DU DEGRE D'EXPOSITION DENTINAIRE (D'APRES (25)).

b) Les systèmes de collage.

Le système adhésif amélo-dentinaire, biomatériaux d'interface, est un élément qui influence de manière non négligeable la pérennité des restaurations a minima collées (37).

De par leur nature, ils contribuent à former un lien étanche et adhérent entre les matériaux de restauration et les surfaces dentaires.

Les adhésifs amélo-dentaires ont une efficacité opérateur-dépendant, obligeant le praticien à la plus grande rigueur lors de leur utilisation.

Les systèmes adhésifs ont été classés en fonction du nombre d'étapes à réaliser et de leur principe d'action (37).

- Les systèmes nécessitant un mordantage préalable suivi d'un rinçage abondant (M&R), en deux ou trois étapes (M&R2 et M&R3)
- Les systèmes où l'application de l'adhésif peut se faire sans traitement de surface préalable (SAM), en une ou deux étapes (SAM1 et SAM2)

Dans le cadre d'un collage de facette, les systèmes adhésifs recommandés sont de type M&R.

En effet, les systèmes SAM présentent des valeurs d'adhérence à l'émail trop faibles, compte tenu de la forme non rétentive de la préparation.

L'étape de mordantage permet d'obtenir un collage optimal à l'émail et rendant les valeurs d'adhérence des systèmes MR très proches.

Le système MR3 reste le plus performant.

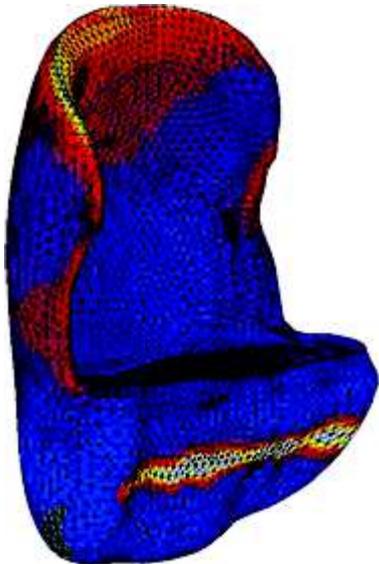
Le système MR3 a pour avantage, de par son protocole de réalisation, de maintenir un degré d'humidité au niveau de la dentine, évitant ainsi une sclérose ou un collapsus de celle-ci. Ce système doit être envisagé particulièrement en cas d'exposition dentinaire.

c) L'opérateur

La notion « opérateur dépendant » du collage n'est plus à démontrer (25, 91-95).

La différence se situe surtout entre les systèmes MR et SAM. La rigueur du protocole fait des systèmes MR les systèmes les plus sensibles aux erreurs de manipulations. L'utilisation de systèmes SAM quant à elle, par des praticiens confirmés ou débutants, ne présente pas de différences significatives (91, 94, 96).

Partie II : Etude par la méthode des éléments finis.



I. Le micro-scanner (micro-CT).

A. La tomодensitométrie

La Tomodensitométrie X, technique d'imagerie datant des années 70, consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus.

Pour ce faire, un scanner est constitué d'un tube à rayons X et d'un ensemble de barrettes de détecteurs disposés en couronne ; ceux-ci tournent autour de l'objet.

1. Principe de base.

Celui-ci repose sur la mesure de l'atténuation d'un faisceau de rayons X qui traverse un segment du corps. Le tube radiogène et les détecteurs tournent autour de l'objet à examiner.

On obtient ainsi de nombreux profils d'atténuation à des angles de rotation différents. Ces profils sont ensuite échantillonnés et numérisés. Les données sont rétro-projetées sur une matrice de reconstruction puis transformées en image 2D ou 3D.

Loi d'atténuation :

$$\text{Log } I_0/I = \mu x \quad \text{ou } I = I_0 e^{-\mu x}$$

Ou : I_0 : Intensité initiale du faisceau

I : Intensité émergente, à la sortie de l'objet.

μ : coefficient d'atténuation linéique de l'objet traversé.

x : épaisseur de l'objet

Un faisceau de rayons X traverse un objet d'épaisseur x et y subit une atténuation en fonction de la densité électronique de l'objet.

Cette valeur de l'atténuation est le résultat de la soustraction de l'intensité du faisceau de rayons X avant et celle d'après la traversée de l'objet.

Le faisceau traverse des structures présentant des densités et des épaisseurs différentes. L'atténuation va donc dépendre de plusieurs (paramètres) inconnus : $\mu_1 X_1$, ... $\mu_n X_n$.

2. Les projections :

Les barrettes du détecteur vont transformer les photons X en signal électrique, ce dernier étant proportionnel à l'intensité du faisceau.

Le profil d'atténuation est l'ensemble des signaux électriques fournis par la totalité des barrettes du détecteur, pour certains un angle de rotation.

La rotation autour de l'objet va permettre d'enregistrer plusieurs profils selon différents angles de rotation.

3. Les rétroprojections

Les projections sont ensuite échantillonnées et numérisées.

Ces données brutes ou converties sont des valeurs numériques avec une adresse spatiale. Avec x projections obtenues selon des angles différents, il est possible de reconstruire une image du plan de coupe.

Ces projections sont rétro-projetées sur une matrice de reconstruction. Chaque profil d'atténuation est projeté selon le même angle qu'à l'acquisition. A partir des valeurs d'atténuation mesurées par chaque détecteur, l'ordinateur calcule la densité de chaque pixel de la matrice.

4. L'image

Chaque pixel est représenté sur l'image par une certaine valeur dans l'échelle des gris.

L'unité Hounsfield :

Afin de comparer l'intégralité des densités présentes dans le corps humain, G.Hounsfield les a classées sur une échelle, ayant pour référence la valeur de l'absorption de l'eau.

La limite inférieure de $- 1000$ UH correspond à l'air. Au fil du temps, et grâce aux progrès technologiques, la limite supérieure a été repoussée (de $+ 1000$ UH à $+ 8191$ UH...), afin de permettre l'étude détaillée et en contraste de l'os.

II. La méthode des éléments finis.

A. Généralités.

La méthode des éléments finis, outil de mathématique appliquée, est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'industrie à des fins d'analyse des problèmes d'ingénierie (97, 98).

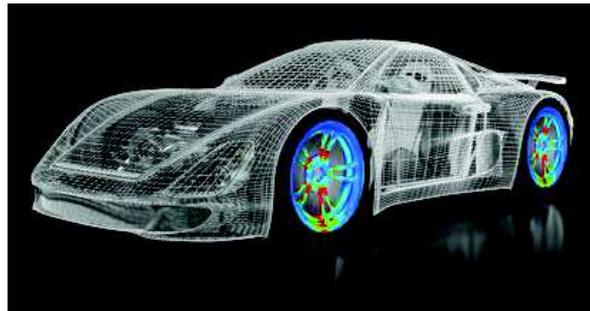
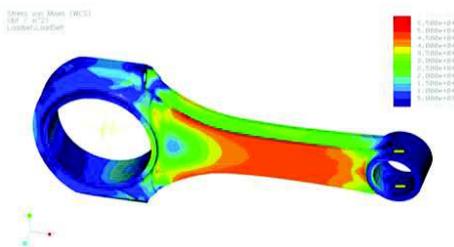


FIGURE II- 1 : EXEMPLE D'UTILISATION D'ANALYSE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS EN INGENIERIE AUTOMOBILE.

La méthode des éléments finis permet la résolution d'une variété de problèmes physiques, tel le comportement mécanique d'objets (**figure II- 1**), même les plus complexes, à condition qu'ils soient formulés en termes d'équations aux dérivées partielles et que ces objets soient continus. Elle permet donc aussi de gérer des géométries complexes et des conditions aux limites.

Il s'agit, d'une résolution approchée, à l'aide de la formulation variationnelle d'un problème.

B. De la représentation géométrique aux éléments finis.

1) La représentation géométrique par les surfaces paramétriques.

Les formes paramétriques sont sûrement les représentations les plus utilisées en conception assistée par ordinateur (CAO).

Les courbes et surfaces les plus couramment utilisées sont les surfaces de Bézier, les B-splines et les B-Splines rationnelles non uniformes (NURBS) (**figure II- 2**).

Ce type de modélisation, nommée B-rep (Boundary representation) a l'avantage de permettre la modélisation d'objets complexes par leurs frontières.

La représentation par les frontières :

Elle consiste à représenter un objet par un ensemble de surfaces, et aussi d'orienter ces surfaces afin de séparer l'intérieur de l'objet de son extérieur.

Deux types d'informations sont conservés sur un modèle B-Rep :

- des informations d'ordre géométrique telles les surfaces, les courbes et les points,
- des informations d'ordre topologique par des relations entre les entités géométriques, tels les sommets, les arêtes et les faces.

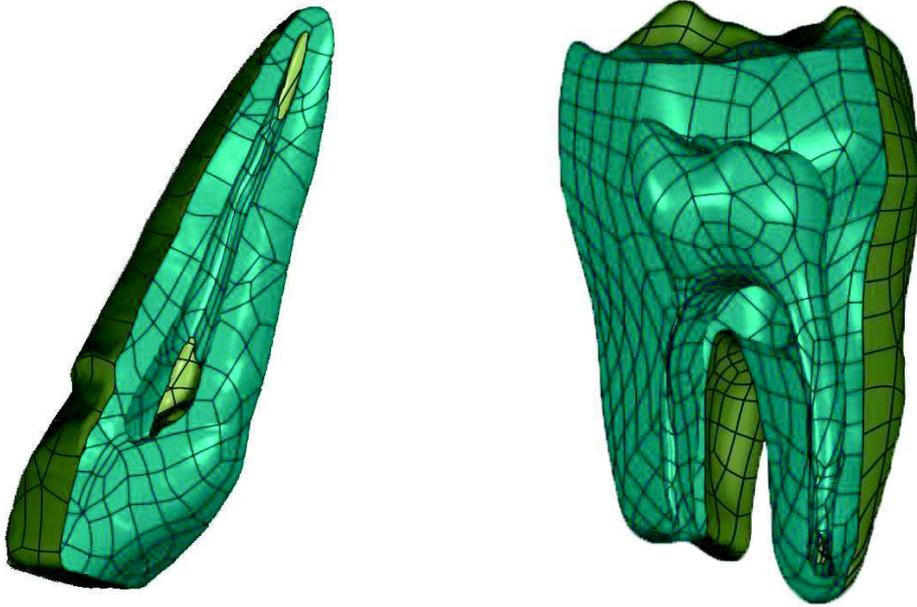


FIGURE II- 2 : REPRESENTATION PAR DES SURFACES NURBS DE LA DENTINE D'UNE INCISIVE MAXILLAIRE ET D'UNE TROISIEME MOLAIRE MANDIBULAIRE.

2) Le maillage.

Le maillage est composé de deux types d'objets géométriques :

- les sous-domaines : qui correspondent au découpage du domaine de géométrie complexe en sous-domaines de formes simples,
- les nœuds : ils sont situés aux sommets des éléments et au milieu des arêtes.

La méthode des éléments finis consiste en un fractionnement de l'espace selon un maillage. Le domaine physique est subdivisé en sous-domaines de forme géométrique simple (*Figure II- 3*).

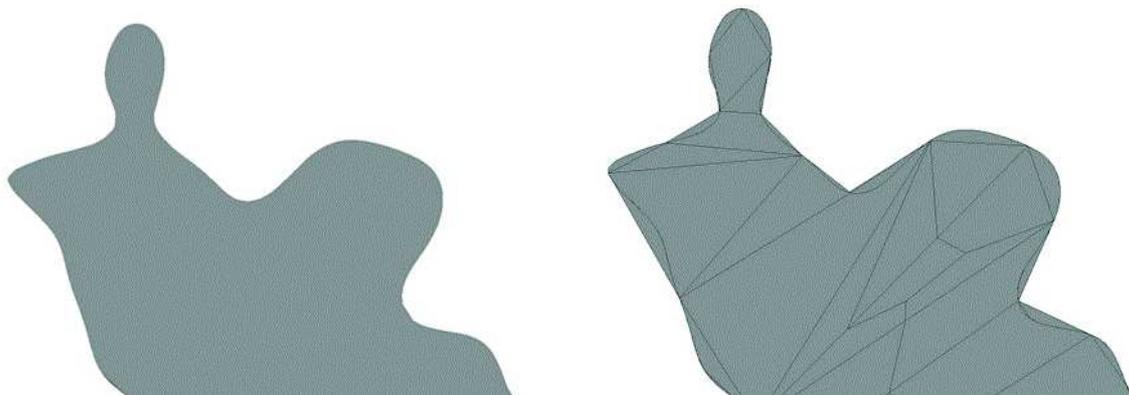


FIGURE II- 3 : EXEMPLE DE MAILLAGE D'UN DOMAINE EN SOUS DOMAINES.

Le maillage tient un rôle majeur dans la simulation par éléments finis car :

- par réunion des sous-domaines, le maillage détermine la géométrie de l'objet à analyser,
- les fonctions de bases associées à chaque nœud et sous-domaines vont permettre de déterminer le type de champ de déplacement (et donc contraintes et déformations).

De ces caractéristiques, de la qualité du maillage et de sa modélisation réfléchie et raisonnée, va dépendre la pertinence et « l'exactitude relative » des résultats.

- Les sous-domaines

Les sous-domaines peuvent être à une, deux ou trois dimensions.

Sous-domaine à une dimension :

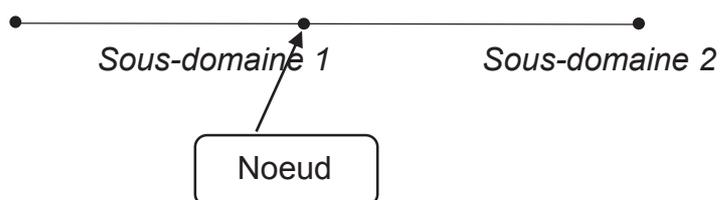


FIGURE II- 4 : EXEMPLE DE SOUS-DOMAINE A UNE DIMENSION.

Les sous-domaines à une dimension sont représentés par des droites ou des courbes et reliés entre eux par des nœuds (*Figure II- 4*). Ces derniers forment la frontière commune.

Sous-domaines à deux dimensions.



FIGURE II- 5 : EXEMPLE DE SOUS-DOMAINES A DEUX DIMENSIONS (TRIANGULAIRE A GAUCHE, QUADRANGULAIRE A DROITE)

Les sous-domaines à deux dimensions peuvent être de plusieurs natures :

- triangles : de degré 1 (3 nœuds) ou de degré 2 (6 nœuds),
- quadrilatères : de degré 1 (4 nœuds) ou de degré 2 (8 nœuds) (*Figure II- 6*).

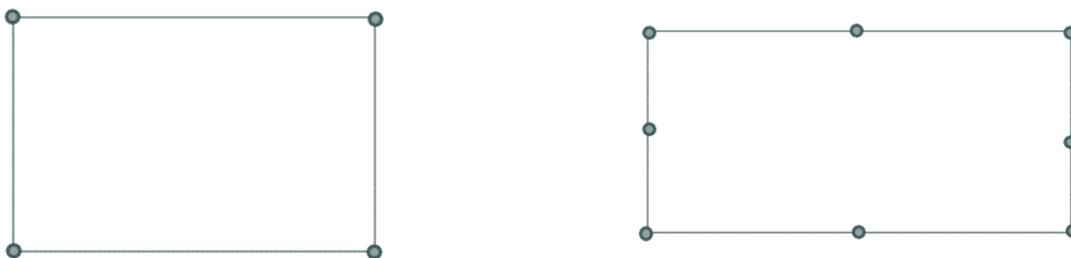


FIGURE II- 6 : EXEMPLE DE SOUS-DOMAINES RECTANGULAIRE DE DEGRE 1 (A GAUCHE) ET DE DEGRE 2 (A DROITE).

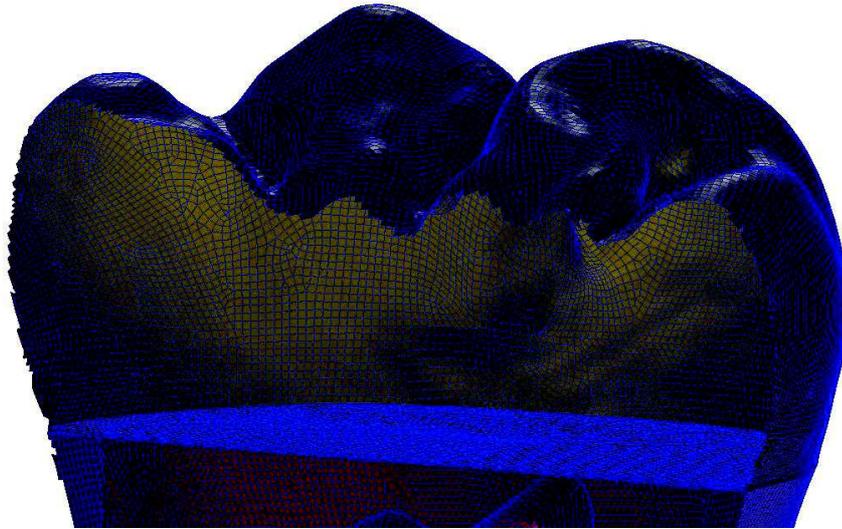


FIGURE II- 7 : MAILLAGE DES SURFACES A L'AIDE DE SOUS-DOMAINES A 2 DIMENSIONS.

Sous-domaines à 3 dimensions :

Les sous-domaines à 3 dimensions ont également plusieurs topologies possibles

(Figure II- 8) :

- tétraèdres : de degré 1, 2 ou 3,
- prismes : de degré 1, 2 ou 3,
- hexaèdres : de degré 1, 2 ou 3.

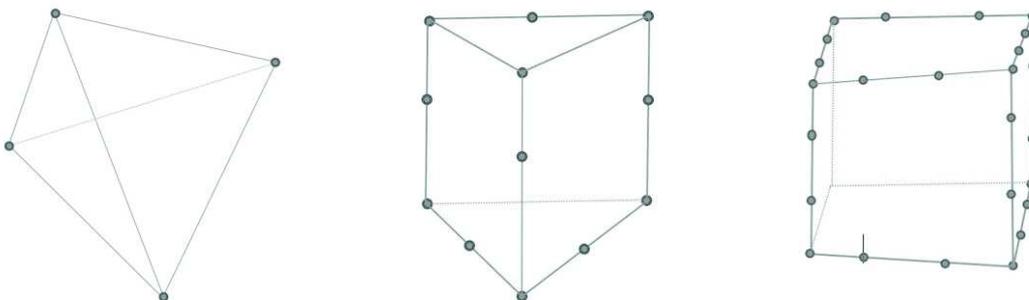


FIGURE II- 8 : SOUS-DOMAINES TETRAEDRIQUE, PRISMATIQUE ET HEXAEDRIQUE DE DEGRE POLYNOMIAL 1, 2 ET 3.

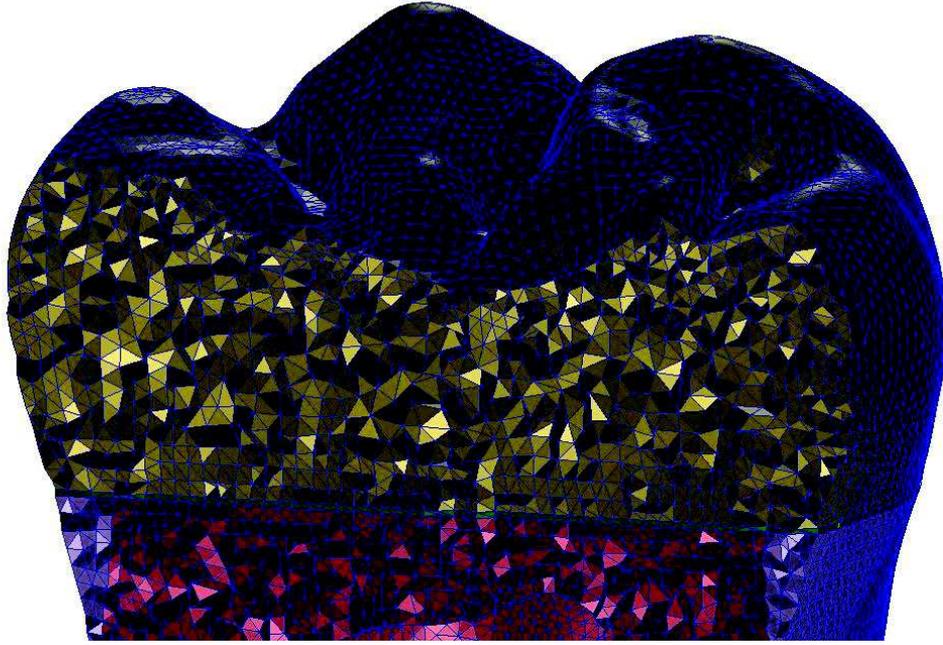


FIGURE II- 9 : MAILLAGE DES VOLUMES A L'AIDE DE SOUS-DOMAINES A 3 DIMENSIONS TETRAEDRIQUES DE DEGRE 4.

Classiquement, on note h la plus grande dimension du sous-domaine, et p le degré du polynôme décrivant le côté ou l'arête.

Idéalement le maillage doit épouser les contours du domaine à analyser.

Pour ce faire un raffinement de type p peut être entrepris (utilisation d'éléments aux côtés ou arêtes courbes), ou bien un raffinement de type h (utilisation d'éléments plus petits).

3) Les fonctions de base.

Les sous-domaines et les nœuds servent de support aux fonctions de base. Ces fonctions de base servent à représenter le champ de déplacement.

Dans chaque sous-domaine et à chaque nœud est associée une fonction.

La construction des fonctions se fait automatiquement par les logiciels de modélisation et d'analyse par éléments finis, seule la nature de l'interpolation est utilisateur-dépendante.

L'objectif des fonctions de base est d'interpoler un champ de déplacement, à partir des valeurs discrètes qui ont été définies aux nœuds.

4) Les éléments finis :

Un élément fini se compose :

- d'un sous-domaine ainsi que de ses nœuds,
- des fonctions de base associées.

Schématiquement, ces éléments sont les briques qui modélisent l'objet.

Les logiciels de simulation, tel Patran, ont des bibliothèques d'éléments qui se distinguent par leurs topologies et le nombre de leurs nœuds (tet4, hex8, quad4 par exemple). Il est également possible de moduler la forme des éléments par positionnement de leurs nœuds dans le but de s'adapter au domaine à modéliser.

C. Calcul.

La phase de calcul s'effectue de manière automatique par le logiciel.

L'utilisation d'un logiciel d'éléments finis à des fins de calculs impose plusieurs conditions préalables :

- réalisation du maillage : il faut modéliser le produit, c'est-à-dire réaliser un maillage,
- application de l'action de l'environnement sur ce maillage : les efforts et forces extérieurs, les déplacements imposés et les conditions aux limites,
- choix des modèles de comportements des matériaux (isotropique, anisotrope, orthotrope...), et attribution de ces caractéristiques aux différents éléments composant le maillage.

Le calcul se compose ensuite de trois étapes successives (Figure II- 10 et Figure II- 11) :

- le prétraitement : Construction, par le logiciel, d'un système d'équations reposant sur les déplacements nodaux imposés et sur les équations d'équilibre des nœuds,
- la résolution : Obtention des efforts nodaux de liaison et des déplacements nodaux,
- le post-traitement : Reconstruction et Mise en image des résultats obtenus et demandés.

Schématisation des phases du calcul :

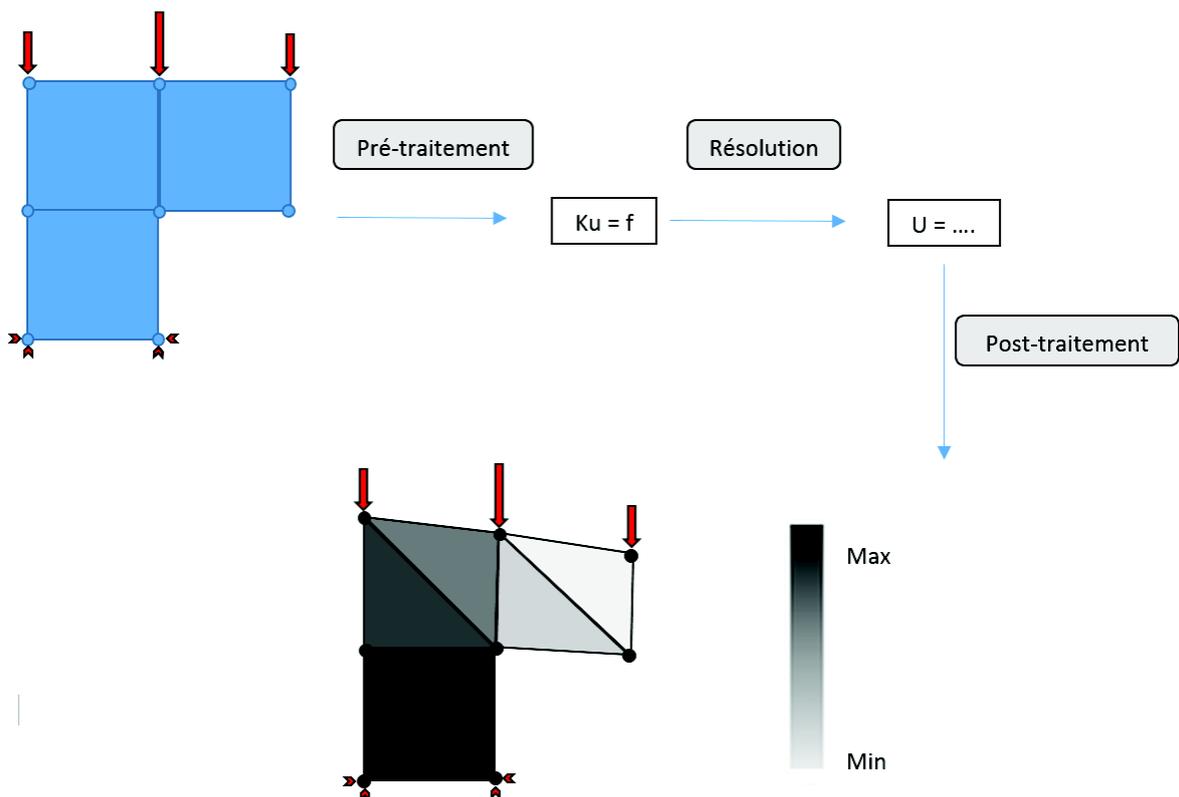


FIGURE II- 10 : SCHEMATISATION DE CALCUL EN 2D D'UN CHAMP DE DEPLACEMENT SELON LA METHODE DES ELEMENTS FINIS.

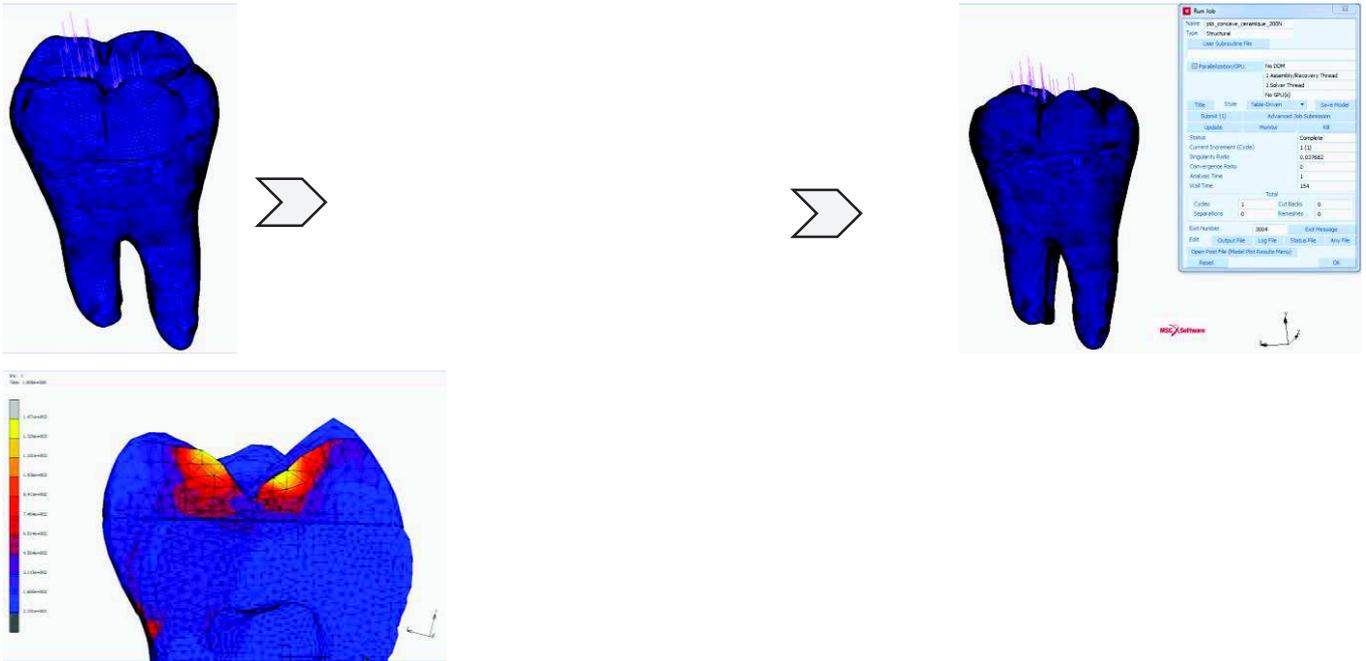


FIGURE II- 11 : EXEMPLE DE QUELQUES ETAPES MENANT A LA REPRESENTATION DES CONTRAINTES DE VON MISES.

L'ultime étape de l'analyse par éléments finis : le diagnostic.

Il est nécessaire de rappeler que les résultats obtenus lors d'une simulation par éléments finis comportent toujours un écart avec la réalité. C'est le propre de l'analyse par éléments finis, qui est une technique de résolution approchée d'un problème.

Cet écart est dû à :

- la modélisation (passage du réel au problème mathématique),
- la discrétisation : transformation des lois de la mécanique des milieux continus, en des lois « discrètes » et dont la définition dépend des fonctions de base (maillage). Ce processus transforme donc un problème continu « insoluble » en de multiples problèmes plus simples, « discrets » solubles.

D. Points essentiels à l'analyse par éléments finis.

Comme nous l'avons vu précédemment, la simulation par éléments finis répond à une démarche précise et riche. On peut isoler quelques points clés menant à la réussite d'une analyse par éléments finis :

- définir clairement l'objectif de l'analyse,
- choisir des modèles et des théories de comportements,
- le choix du solveur,
- la modélisation de l'objet,
- créer les conditions aux limites et l'action de l'environnement sur l'objet à analyser,
- calculer,
- diagnostiquer et valider.

1. Définir l'objectif.

Les éléments finis ont la caractéristique d'offrir un cadre des plus riches afin de modéliser des objets, leurs environnements et ainsi les champs de déplacement, de contraintes et les phénomènes qui en découlent.

Le choix est extrêmement vaste pour le manipulateur de ces logiciels. Cette palette de choix va aussi influencer les résultats. En prenant en compte cette caractéristique, le concepteur doit garder à l'esprit son objectif afin de choisir au mieux la finesse du maillage ainsi que les comportements des matériaux.

2. Choisir des modèles et théories de comportements.

Cette théorie est obtenue par discrétisation d'une théorie continue, et donc issue de la physique des milieux continus, par exemple.

Cette discrétisation dépend, quant à elle, du maillage et donc du modèle du produit.

Dans l'analyse des éléments finis, quand plusieurs théories conviennent, il est préférable d'utiliser la plus simple. Et ceci à des fins d'économie budgétaire, sans nuire pour autant au résultat.

3. Le choix du solveur.

Les solveurs peuvent différer par leurs types d'éléments et les modèles d'environnement proposés en bibliothèque.

L'ergonomie et le coût sont aussi des notions à prendre en considération.

Ce choix peut donc influencer le résultat par le biais du choix du modèle.

4. Modéliser le produit.

Cette étape est très souvent réalisée par le logiciel de manière automatique. Néanmoins, il convient de prendre le temps de :

- adapter la géométrie de l'objet à l'objectif et à la théorie que l'on utilise,
- choisir des éléments (types et taille) en fonction de la géométrie de l'objet, des résultats que l'on désire obtenir et donc de l'objectif,
- générer puis contrôler la qualité du maillage.

5. Création des conditions aux limites et de l'environnement.

C'est la principale source d'erreur observée dans les résultats, si on compare la simulation à la réalité. Les conditions aux limites représentent les contraintes appliquées au système (zones fixes ou immobiles, application d'une force, poids..).

6. Calculer.

Cette étape réalisée de manière automatique par les logiciels ne constitue pas source d'erreur en général.

C'est le post-traitement qui est à l'origine d'erreurs d'interprétation, surtout dans l'analyse des champs de contraintes.

7. Diagnostiquer et valider.

Les aides au diagnostic sont disponibles dans les logiciels d'analyse par éléments finis. Ces aides vont permettre de supprimer ou d'estomper certaines sources d'écarts.

Les logiciels vont également vérifier l'intégrité des modèles et que ces modèles respectent les règles de la théorie choisie. En cas d'anomalie, le solveur va renvoyer à l'utilisateur un message d'erreur.

Seule la modélisation, allant de l'objet réel à sa représentation numérique par la méthode des éléments finis et certaines fautes de l'utilisateur (par son manque d'expérience) sont des facteurs d'échecs que les logiciels les plus perfectionnés ne peuvent détecter et résoudre.

E. Quelques applications de la simulation par éléments finis dans le domaine médical.

Une recherche dans la base de données Pubmed Medline permet de retrouver 22492 articles répondant aux critères de recherche « Finite Element ». Dans cette recherche, le premier article est paru en 1966, et le nombre d'articles parus chaque année ne cesse de croître (1511 en 2010 et 2288 en 2015).

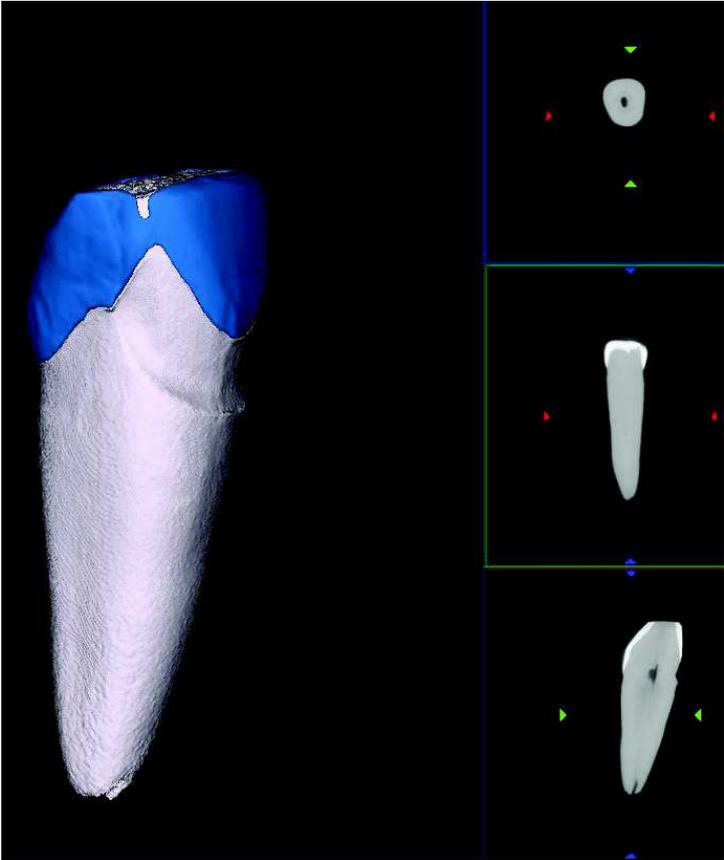
Nombre de ces articles ont fait appel à des analyses par éléments finis à deux dimensions (52). Ces analyses sont maintenant abandonnés au profit d'analyses en

trois dimensions, se rapprochant ainsi encore un peu plus de la réalité clinique (99-102).

Dans le domaine de l'odontologie, Pascal Magne a publié de nombreux articles dont les études reposaient sur l'analyse par la méthode des éléments finis (52, 103-107). Ces travaux portaient sur l'étude des comportements d'éléments prothétiques (facettes, inlay, onlay, overlay..).

En 2012, le Docteur Frédéric Heichelbech a réalisé, dans le cadre de la faculté de chirurgie dentaire de Strasbourg et en partenariat avec l'Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg (INSA) un travail de recherche portant sur l'étude de la forme des préparations des facettes en céramique et utilisant la méthode d'analyse par éléments finis (108).

Partie III : Matériels et Méthode.



I. Modèle étudié.

Une incisive centrale maxillaire, fraîchement extraite est sélectionnée comme modèle d'étude (Figure III - 1).



FIGURE III - 1 : INCISIVE MAXILLAIRE AVANT PREPARATION POUR FACETTE EN CERAMIQUE COLLEE.

II. Protocole de préparation.

La forme de préparation pour facette en céramique choisie est la forme butt-Margin.

La préparation a été réalisée en veillant à respecter un maximum les recommandations de préparation (Tableau III - 1) (3, 20, 38, 40, 108).

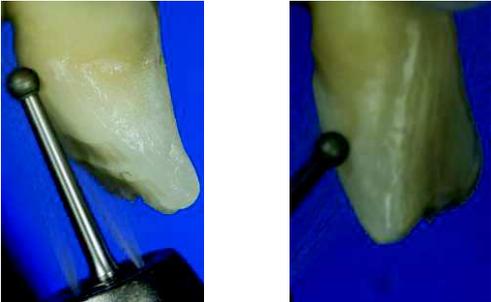
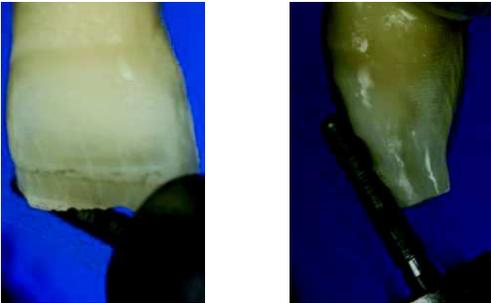
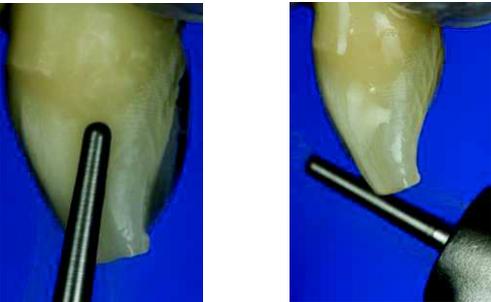
<p>Pénétration contrôlée.</p>	
<p>Réduction du bord libre.</p>	
<p>Limite cervicale, extensions gingivoproximales et limites proximales.</p>	
<p>Préparation de la convexité vestibulaire et réduction homothétique du bord libre.</p>	
<p>Finitions.</p>	

TABLEAU III - 1 : PROTOCOLE DE PREPARATION DE L'INCISIVE MAXILLAIRE.



FIGURE III - 2 : INCISIVE MAXILLAIRE APRES PREPARATION POUR FACETTE CERAMIQUE, SELON DE PROTOCOLE TYPE BUTT MARGIN.

Suite à cette étape clinique, l'incisive (**Figure III - 2**) a été numérisée à l'aide d'un micro-scanner.

III. Numérisation de l'incisive.

En partenariat avec l'unité fonctionnelle d'imagerie préclinique des HUS, dirigée par le docteur Philippe Choquet, cette étape consiste en la numérisation de l'incisive à l'aide d'un micro-scanner. Il s'agit d'un micro-scanner eXplore speCZT Vision 120 de la société General Electric (**Figure III - 3**).



FIGURE III - 3 : MICRO-SCANNER EXPLORER SPECZT VISION 120 (GENERAL ELECTRIC).

L'incisive est numérisée à l'aide de ce micro-scanner avec les paramètres suivants :

- 90 kVolt
- 32mA
- Temps d'exposition : 100ms
- Nombre de projections : 1200
- 1 accumulation par projection, angle de 0.3°.
- Taille du Voxel à la reconstruction: 25µm/25µm/25µm

Suite à cette numérisation (**Figure III - 4**), les différents tissus constituant la dent peuvent être isolés par une méthode de seuillage (**Figure III - 5/6/7**). Ceci permet ensuite d'exporter l'émail isolément des autres tissus dentaires au format STL.

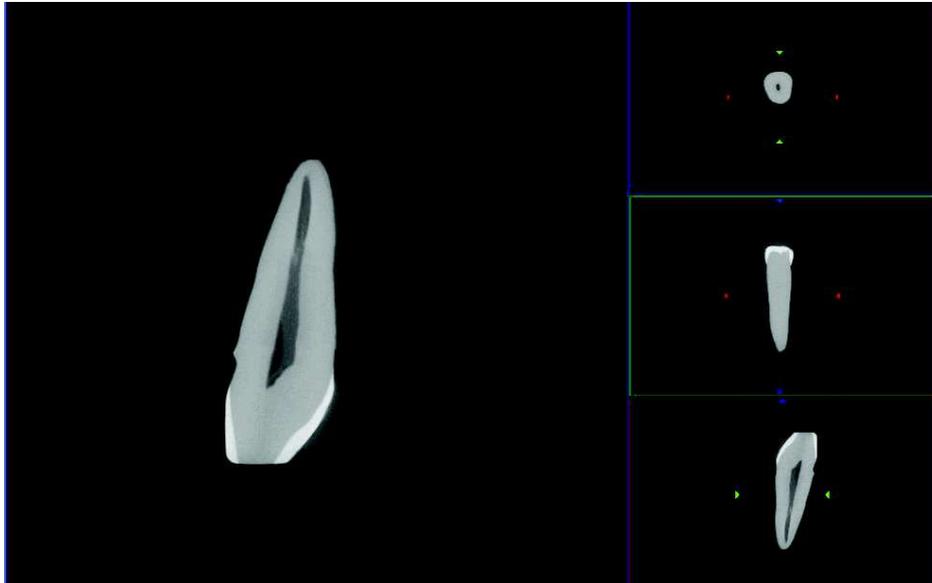


FIGURE III - 4 : VUE EN COUPE DE L'INCISIVE APRES MICRO-SCANNAGE ET RECONSTRUCTION.

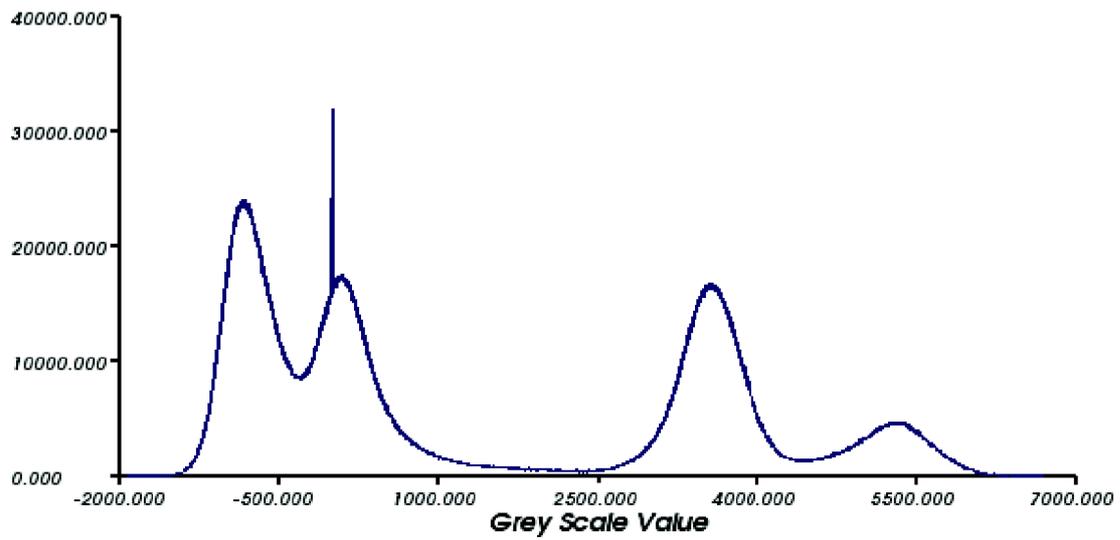


FIGURE III - 5 : ECHELLE DE GRIS PERMETTANT LE SEUILLAGE.

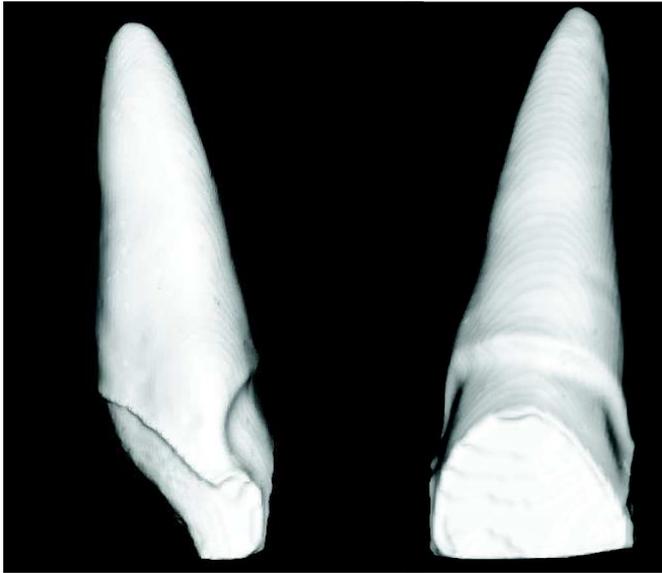


FIGURE III - 6 : VISUALISATION 3D APRES SEUILLAGE DE L'INCISIVE SANS EMAIL.

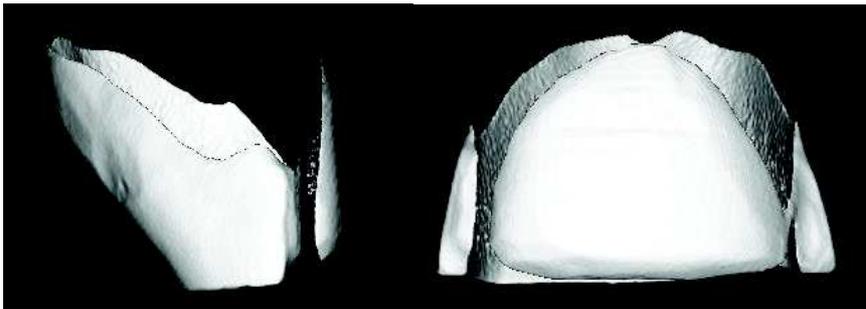


FIGURE III - 7 : VISUALISATION 3D APRES SEUILLAGE DE L'EMAIL.

IV. Modélisation et éléments finis.

L'objectif de ces manipulations informatiques est de passer d'un modèle .STL composé de milliers de points à un modèle 3D volumique et caractérisé par des éléments finis permettant son analyse.

A. Du fichier .STL au fichier .IGES.

Les fichiers .STL issus de la numérisation par micro-CT sont importés dans le logiciel Géomagic Studio 2013 (Geomagic GmbH, Germany) (Figure III - 8 et Figure III - 9).

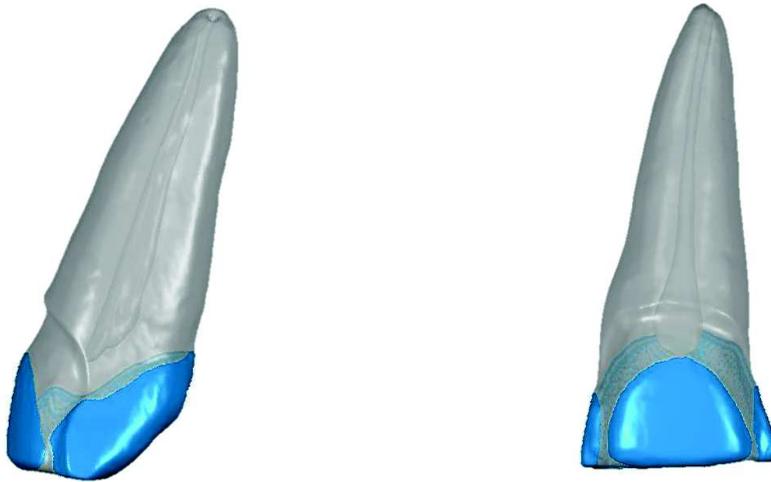


FIGURE III - 8 : MODELE AVEC MISE EN EVIDENCE DU TISSU AMELAIRE.

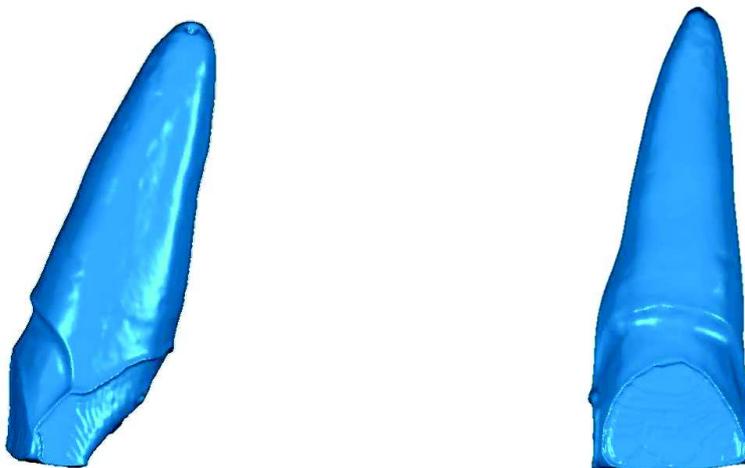


FIGURE III - 9 : MODELE « DENTINE », RESULTANT DE LA SOUSTRACTION DU GROUPE « EMAIL ».

La modélisation de la facette a été réalisée par le laboratoire de prothèse de Dominique Watzki grâce au logiciel Dental Designer (3shape®).

Le fichier .STL de la facette a ensuite été importé dans Géomagic Studio 2013 et mis en place sur le modèle (Figure III - 10 et Figure III - 10).

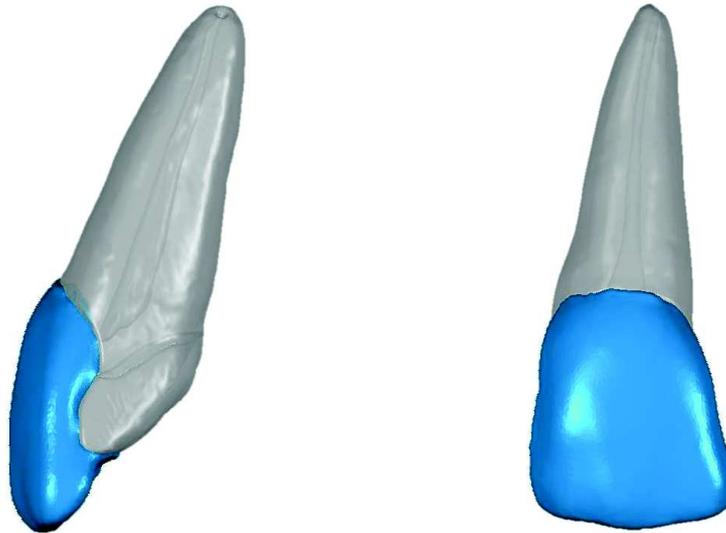


FIGURE III - 10 : MODELE AVEC MISE EN EVIDENCE DE LA FUTURE FACETTE EN CERAMIQUE.

Ce logiciel va permettre de créer des surfaces, à partir des nuages de points du format .STL (Figure III - 11).

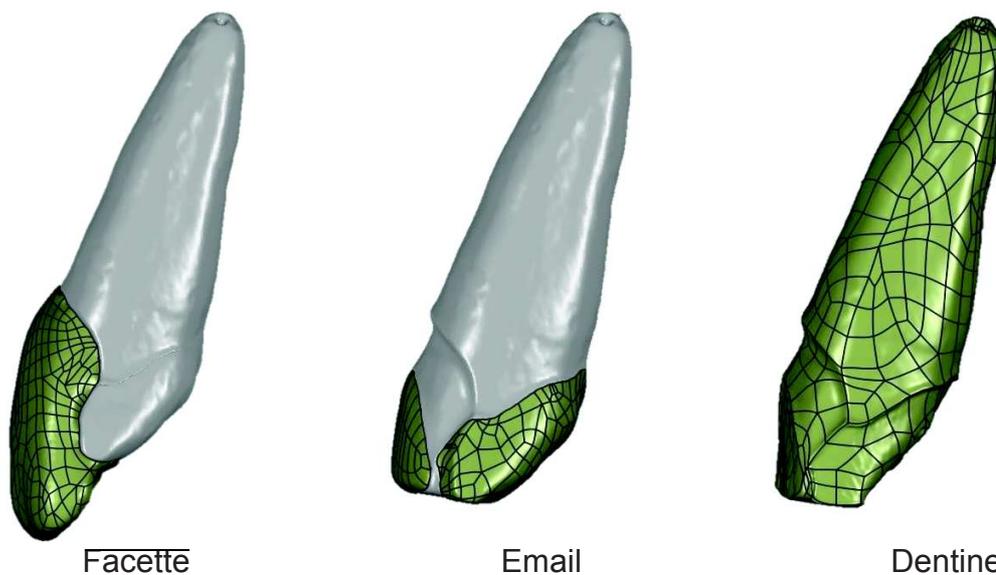


FIGURE III - 11 : MISE EN EVIDENCE DES SURFACES APPARTENANT AUX GROUPES «FACETTE » ; « EMAIL » ET « DENTINE ».

B. Du fichier IGES. Au fichier .BDF.

L'étape suivante consiste à importer le fichier .IGES obtenu à l'aide de Geomagic, dans le logiciel Patran 2012 (MSC Software).

Ce logiciel va permettre de créer des solides à partir des surfaces, puis de transformer ces solides en éléments finis.

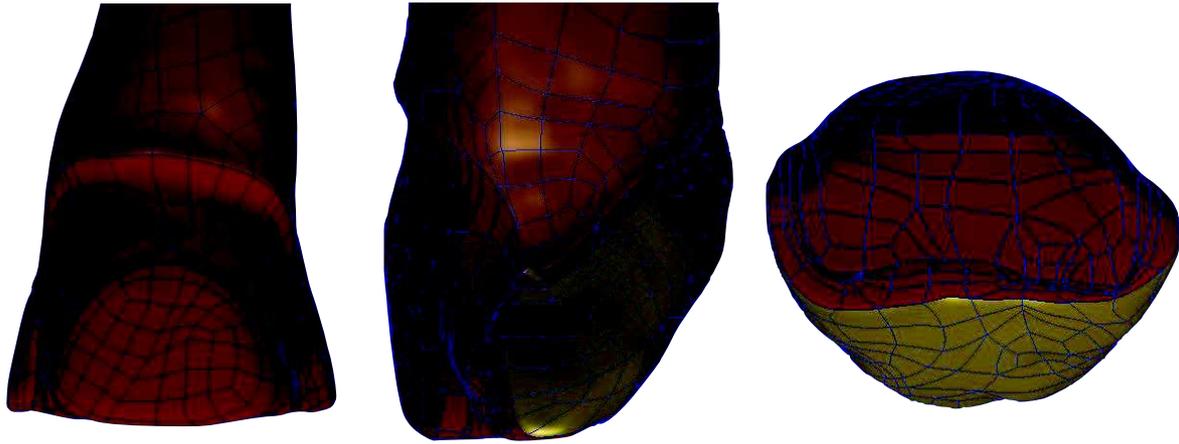
1. Création du solide « colle ».

Selon les données issues de la littérature, l'épaisseur optimale de la colle se situe entre 50 et 100 microns (109). Dans le cas d'une épaisseur supérieure à 300 microns, on observe une diminution de la résistance à la fracture de la céramique.

De ce fait, afin d'avoir une épaisseur de colle restant optimale et de faciliter les manipulations de modélisation, le choix s'est porté vers une épaisseur de 120 microns.

La procédure pour créer le solide « colle » est la suivante :

- translation du groupe « facette » afin d'obtenir un espacement de 120 microns,
- suppression dans le groupe « facette » des surfaces modélisant l'intrados,
- sélection dans les groupes « email » et « dentine » des surfaces à l'intérieur de la limite de préparation (**Figure III - 12**),
- création à partir de ces surfaces d'un nouveau groupe « colle »,
- translation/duplication de ces surfaces en direction coronaire et vestibulaire, afin d'obtenir un espacement de 120 microns (**Figure III - 13**),
- création des surfaces à la périphérie du futur solide « colle » afin d'obtenir un espace clos (**Figure III - 13**),
- les surfaces translattées sont ajoutées au groupe « facette ».
- création du solide « colle ».



Vue vestibulaire

Vue proximale

Vue coronaire

FIGURE III - 12 : MISE EN EVIDENCE DES SURFACES AMELAIRES ET DENTINAIRES SERVANT A LA MODELISATION DU SOLIDE « COLLE »



A

B

FIGURE III - 13 : TRANSLATION DES SURFACES ET UNION PAR DES COURBES (A), FERMETURE DU FUTUR SOLIDE « COLLE » PAR DES SURFACES (B).

2. Modélisation des solides « émail », « dentine » et « facette ».

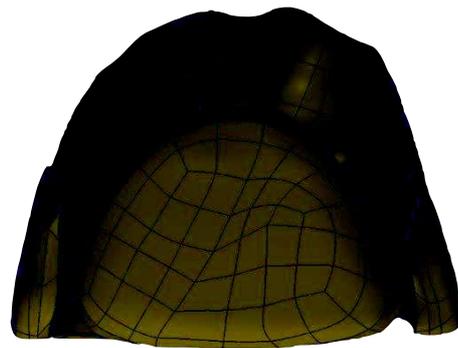
Suite à la modélisation de la colle, il est possible de transformer les différents groupes en solides.

Pour plus de commodité, les groupes se distinguent par leur couleur :

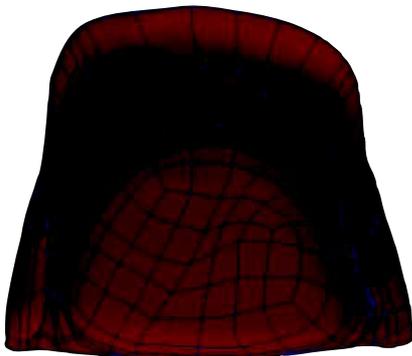
- Groupe « dentine » : couleur marron (Figure III - 14 (A)).
- Groupe « émail » : couleur jaune (Figure III - 14 (B)).
- Groupe « colle » : couleur rouge (Figure III - 14 (C)).
- Groupe « facette » : couleur grise (Figure III - 14 (D)).



A



B



C



D

FIGURE III - 14 : SOLIDE « DENTINE » (A) ; SOLIDE « EMAIL » (B) ; SOLIDE « COLLE » (C) ; SOLIDE « FACETTE » (D).

3. Modélisation des éléments finis.

Chaque groupe ou domaine est ensuite divisé en de multiples sous domaines ou éléments finis en trois dimensions et de forme tétraédrique, ici tet4.

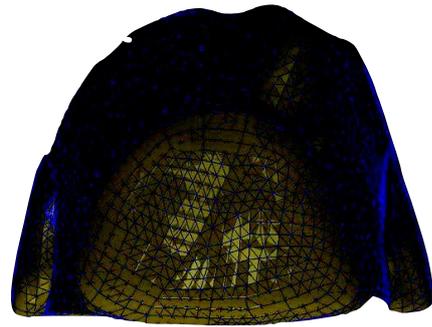
a) Etape de maillage des domaines.

Dans un premier temps, les surfaces des différents domaines sont maillées à l'aide d'éléments finis à 2D, de type rectangulaire (Quad4hybrid) (Figure III - 15).

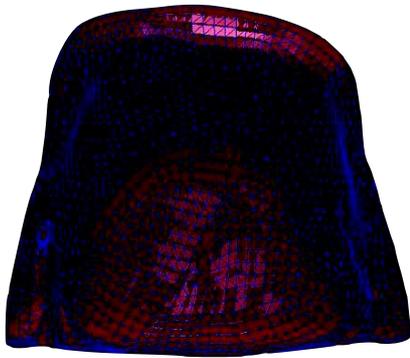
Ce maillage en surface des domaines va permettre de guider le futur maillage en trois dimensions (Figure III - 16) et ainsi permettre de garder un contact parfait entre les différents domaines, sans quoi un défaut de contact ou une interpénétration des éléments finis appartenant à des domaines distincts risqueraient de fausser la phase de calcul et donc les résultats.



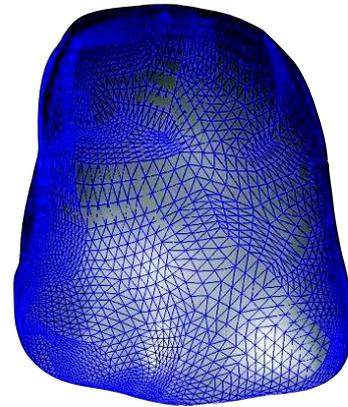
A



B



C



D

FIGURE III - 15 : MAILLAGE DES DOMAINES DENTINE (A), EMAIL (B) ; COLLE (C) ET FACETTE (D) ; EN SOUS DOMAINES EN DEUX DIMENSIONS.



FIGURE III - 16 : VUE EN COUPE SAGITTALE MEDIANE DU MODELE.

b) Caractérisation des domaines et sous-domaines.

Chaque domaine comporte un nombre précis d'éléments (Tableau III - 1).

Domaine	Nombre d'éléments finis
Dentine	187675
Email	37156
Colle	12806
Facette	80653

TABLEAU III - 1 : NOMBRE D'ELEMENTS FINIS PAR DOMAINE.

Ces éléments sont ensuite associés à des caractéristiques mécaniques, ici Module de Young et Coefficient de Poisson (Tableau III - 2).

Les caractéristiques mécaniques utilisées pour les éléments finis appartenant au domaine « facette », sont celles d'une vitrocéramique à base de disilicate de lithium, l'IPS E.max®, de la société Ivoclar Vivadent.

Quant aux caractéristiques mécaniques utilisées pour les éléments finis du domaine « colle », le choix s'est porté vers le Variolink II® de la société Ivoclar Vivadent.

Pour les tissus dentaires, les caractéristiques ont été reprises de travaux publiés dans la littérature (52, 99, 100, 110).

	Module de Young	Coefficient de Poisson
Dentine	18.6 GPa	0.32
Email	84.1 GPa	0.33
Colle (Variolink®,Ivoclar Vivadent)	8.3 GPa	0.3
Céramique (IPS e.max®, Ivoclar Vivadent)	95 GPa	0.24

TABLEAU III - 2 : MODULE DE YOUNG ET COEFFICIENT DE POISSON ASSOCIES AUX DIFFERENTS ELEMENTS FINIS.

La dernière phase consiste à générer une extension du fichier en format .BDF.

Ce fichier va pouvoir ensuite être importé dans le solveur Marc Mentat (MSC Software).

A ce niveau, il est possible de :

- appliquer des conditions limites au modèle,
- transformer le modèle en y modélisant une restauration directe au composite,
- lancer le calcul et obtenir un fichier de sortie.

C. Le solveur.

1. Application des conditions limites.

a) Fixation du modèle.

Les nœuds situés 2 mm plus apicalement que la jonction amelo-cementaire sont bloqués (Figure III - 17). Ce qui veut dire que tout déplacement dans les trois plans de l'espace leur est impossible.



FIGURE III - 17 : CONDITION LIMITE : ENCASTREMENT DU MODELE DANS LES TROIS PLANS DE L'ESPACE, EN VUE VESTIBULAIRE (A) ET VUE PROXIMALE (B)

Cette condition est indispensable à l'analyse des modèles étudiés, même si elle ne représente pas la situation clinique réelle qui, elle, bénéficie de la laxité ligamentaire.

b) La charge ou force occlusale.

Une deuxième condition limite est appliquée : la charge occlusale.

Reprenant les travaux du Docteur Frederic Heichelbech (108) , il a été décidé de calibrer la force occlusale à 20N.

Cette charge appliquée à 45° par rapport à l'axe corono-radulaire est la résultante de deux composantes :

- une première, appliquée parallèlement à l'axe corono-radulaire,
- une seconde appliquée de manière orthogonale à l'axe corono-radulaire.

Deux situations ont été envisagées, reprenant schématiquement le trajet d'incision :

- une charge occlusale s'appliquant sur les nœuds situés à 0.5 mm du bord libre et 0.75mm des bords proximaux (Figure III - 18). Ce cas de figure schématise le début du mouvement d'incision allant du bord libre des incisives maxillaires en direction cervicale,
- une charge occlusale s'appliquant sur les nœuds situés à 1.8mm du bord libre et 0.75mm des bords proximaux (Figure III - 18).

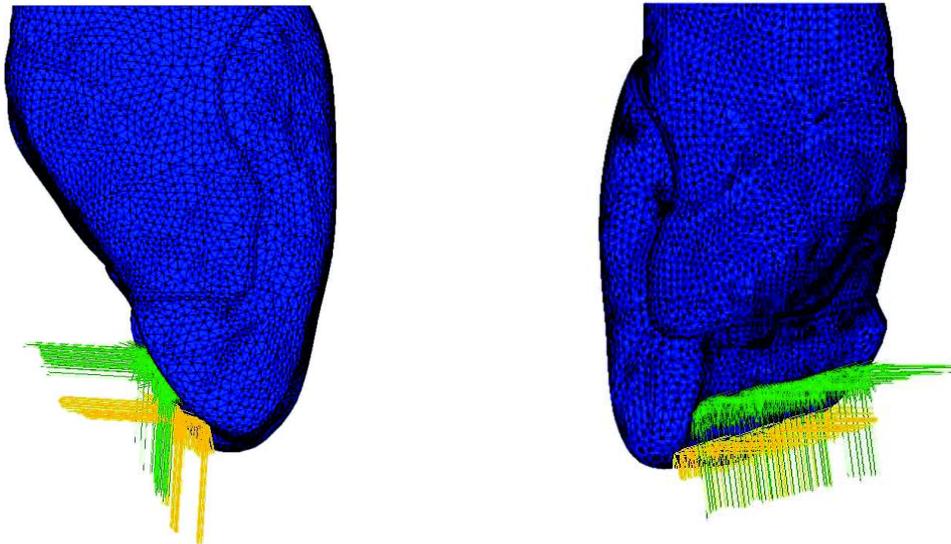


FIGURE III - 18 : CHARGE OCCLUSALE APPLIQUEE A 0.5MM BORD LIBRE (FLECHES JAUNES) ET CHARGE OCCLUSALE APPLIQUEE A 1.8 MM DU BORD LIBRE (FLECHES VERTES)

2. Transformation du modèle/ Modélisation d'une restauration directe au composite.

Le modèle a pu être ensuite transformé afin d'y adjoindre la modélisation d'une restauration directe au composite, tout en conservant les mêmes conditions limites entre les modèles.

Le choix des caractéristiques mécaniques des restaurations directes s'est porté vers deux résines composites de la société 3M ESPE, le Filtek Z100 (Z100) et le Filtek Flow (FF) (111). Les caractéristiques sont décrites dans le Tableau III - 2.

	Module de Young	Coefficient de Poisson
Z100	11.3 GPa	0.302
FF	3.45 GPa	0.393

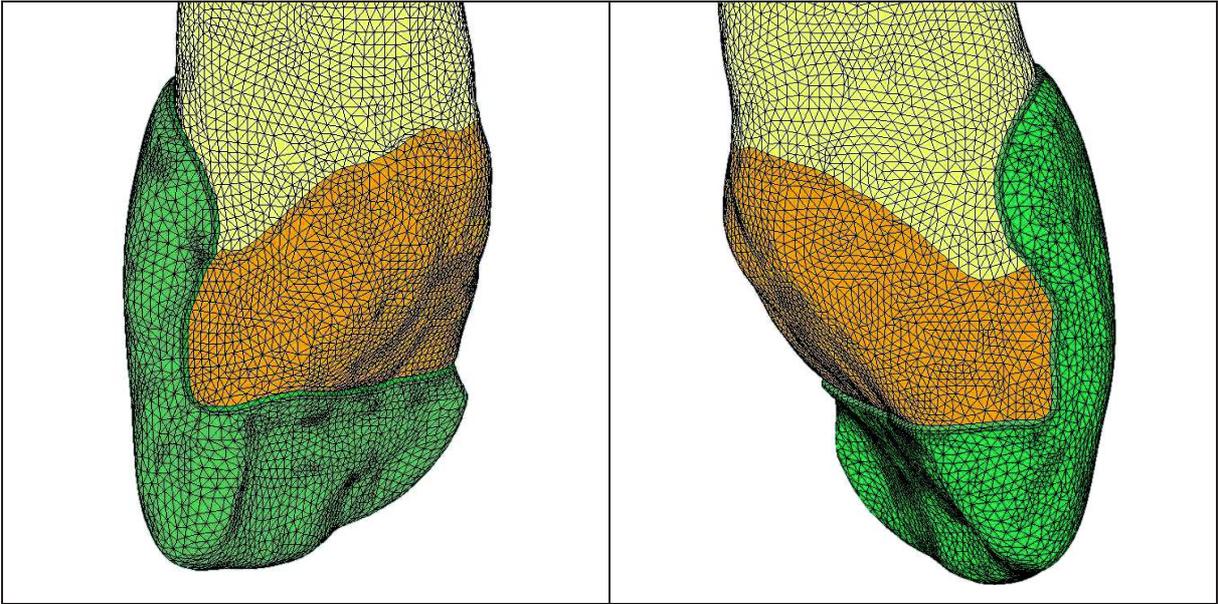
TABLEAU III - 2 : MODULE DE YOUNG ET COEFFICIENT DE POISSON DES COMPOSITES Z100 ET FF DE LA SOCIETE 3M.

Pour modéliser le composite, la procédure est la suivante :

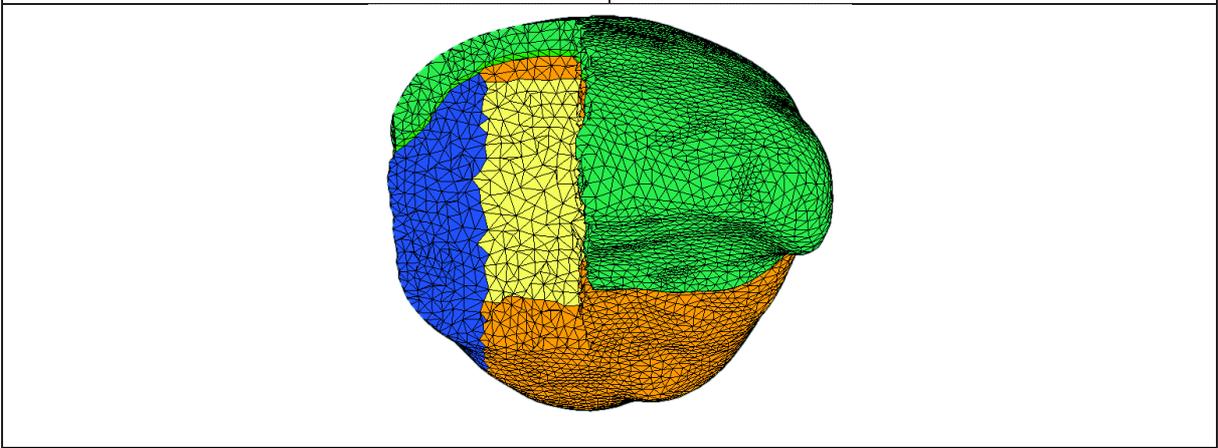
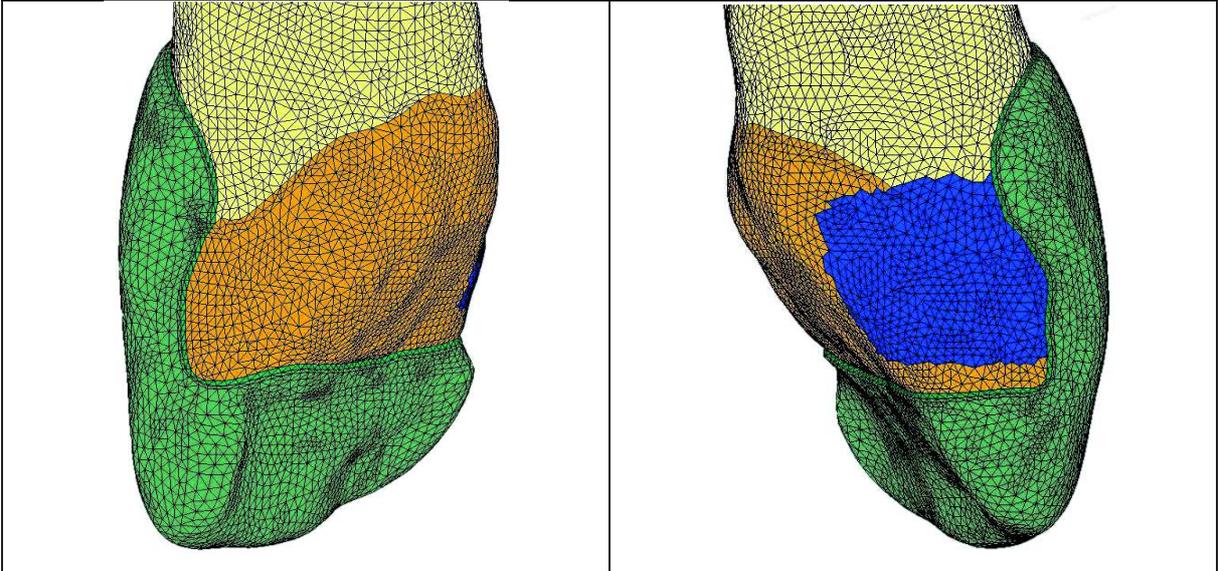
- création d'un nouveau groupe « composite »,
- sélection des éléments finis et importation dans le groupe « composite »,
- caractérisation mécanique du groupe « composite ».

A la suite de cette procédure, trois modèles sont prêts aux calculs :

- Modèle 1 : ne présentant pas de restauration directe au composite.
- Modèle 2 : présentant une restauration directe ayant les caractéristiques mécaniques du Z100.
- Modèle 3 : Présentant une restauration directe ayant les caractéristiques mécaniques du FF.

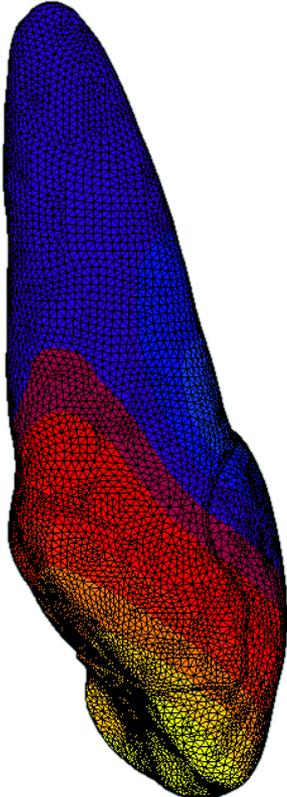
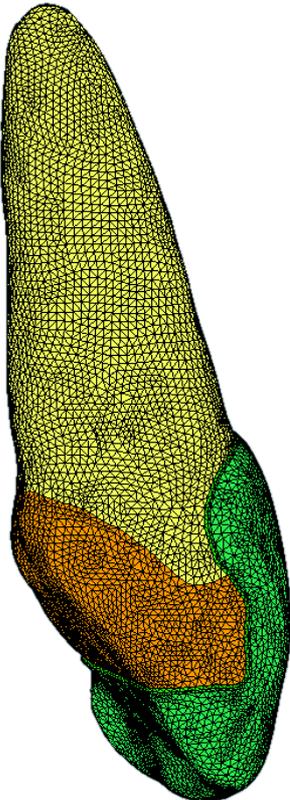


Modèle 1



modèle 2 et modèle 3.

Partie IV : Résultats et discussion.



I. Résultats.

A. Introduction.

Chaque tissu constituant la dent a pu être ainsi isolé afin d'être analysé de manière précise et distincte.

Cependant, l'analyse ne porte que sur l'élément prothétique, la facette en céramique constituant les différents modèles.

1. Modèles étudiés.

Trois modèles avec chacun deux types de charges occlusales ont été étudiés :

- Modèle 1 et charge au bord libre.
- Modèle 1 et charge sur face palatine.
- Modèle 2 et charge au bord libre.
- Modèle 2 et charge sur face palatine.
- Modèle 3 et charge au bord libre.
- Modèle 3 et charge sur face palatine.

B. Le matériau étudié : La céramique :

De manière générale, les céramiques ont comme caractéristiques une excellente résistance à la compression, une résistance à la flexion moyenne mais une résistance à la traction faible.

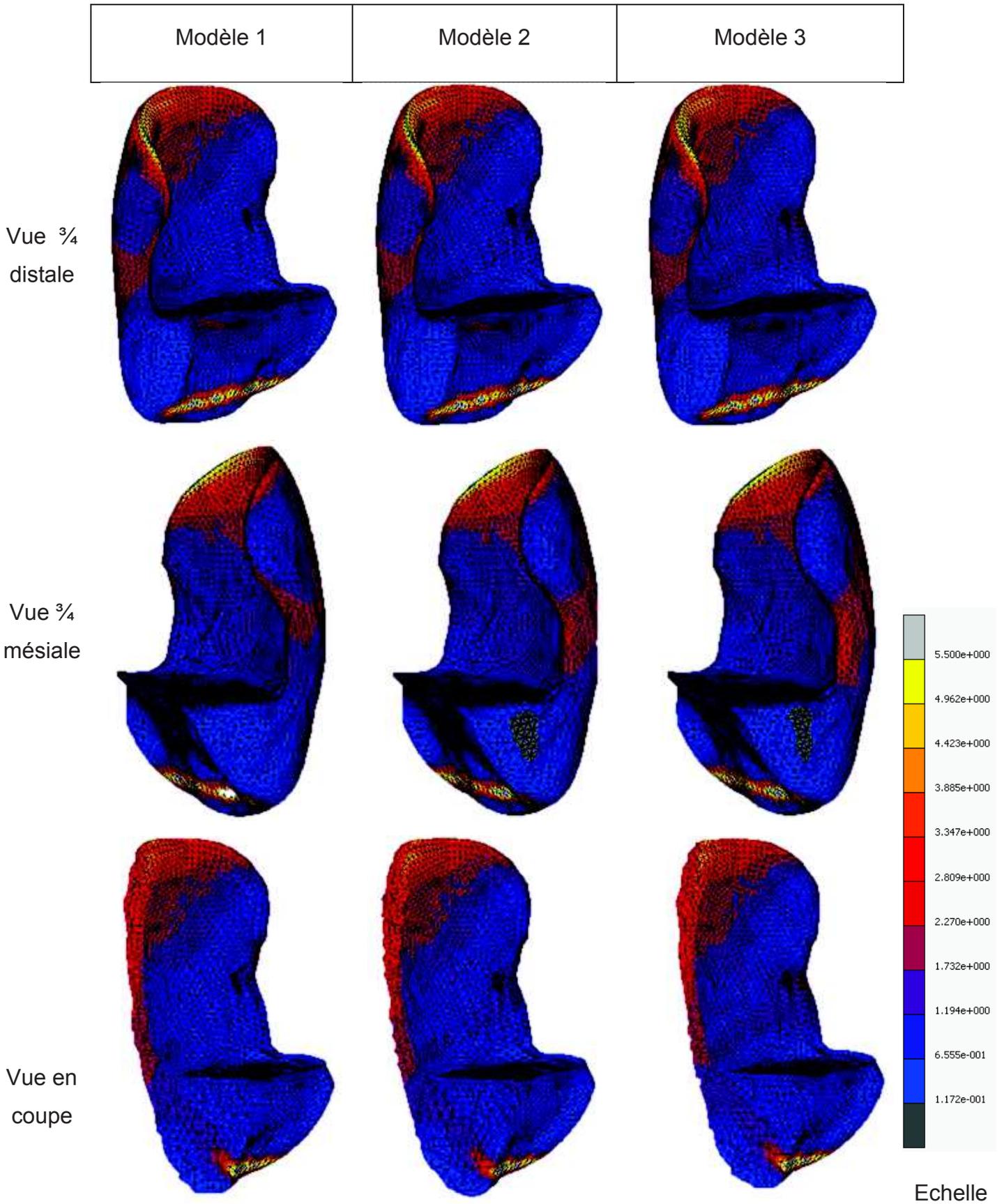
En effet, la céramique se caractérise par sa fragilité, ce matériau ne présentant pas de domaine de plasticité.

C. Champs de contraintes étudiés.

Dans un but didactique et d'analyse rapide, l'étude des **contraintes équivalentes de Von Mises** permettent de mettre en évidence les zones soumises à une contrainte.

Néanmoins, la contrainte équivalente de Von Mises a comme défaut majeur de faire perdre le signe, les zones mises en évidence ne peuvent donc pas être caractérisées en compression ou traction.

La céramique ayant une rupture dite fragile, l'analyse des **contraintes de traction (en MPa)** et des **déformations élastiques de traction** est nécessaire.



TABEAU IV - 1 : CONTRAINTES EQUIVALENTES DE VON MISES (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° AU BORD LIBRE.

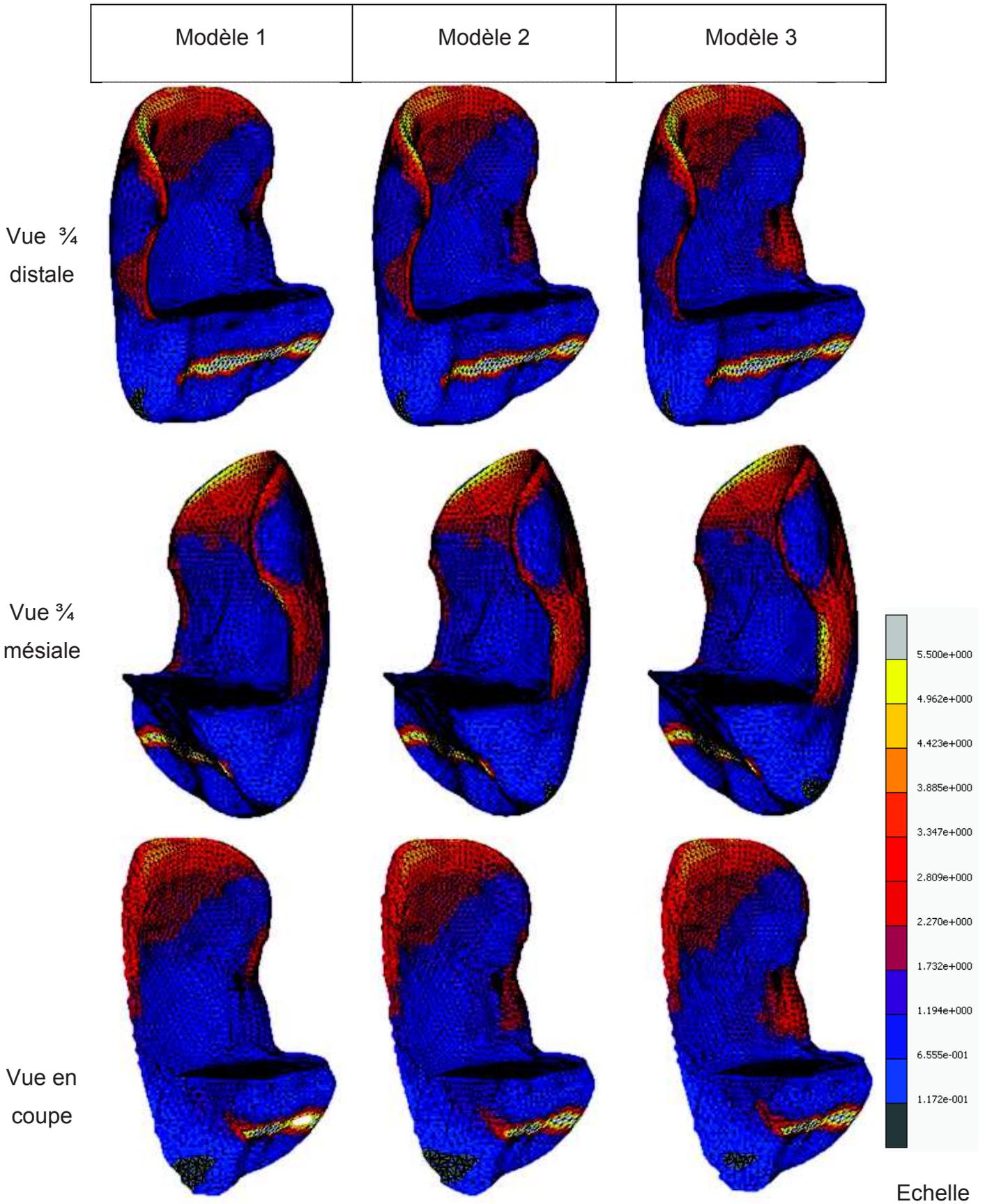


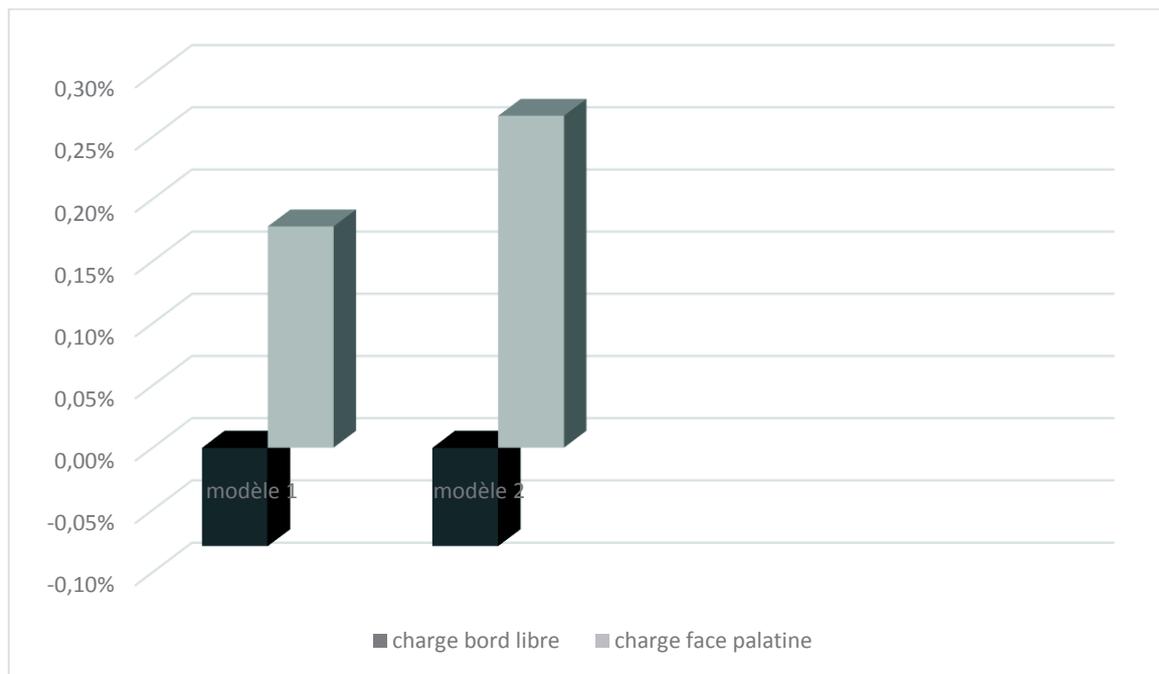
TABLEAU IV - 2 : CONTRAINTES EQUIVALENTES DE VON MISES (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LA FACE PALATINE.

Interprétations.

La comparaison de ces analyses des contraintes équivalentes de Von Mises permettent d'objectiver que :

- Le bord libre (partie de céramique non soutenue), ainsi que la limite cervicale, sont fortement soumis à des contraintes lors du chargement, ces zones ne variant pas en intensité d'un modèle à l'autre.
- A l'inverse, l'extension gingivo-proximale en regard de la restauration directe, est soumise à des contraintes dont l'intensité varie en fonction du modèle étudié.

Valeurs maximales :



HISTOGRAMME IV - 1 : VARIATIONS DES CONTRAINTES EQUIVALENTES DE VON MISES DANS LES MODELES AVEC COMPOSITE PAR RAPPORT AU MODELE DE REFERENCE (MODELE 1). EN (%).

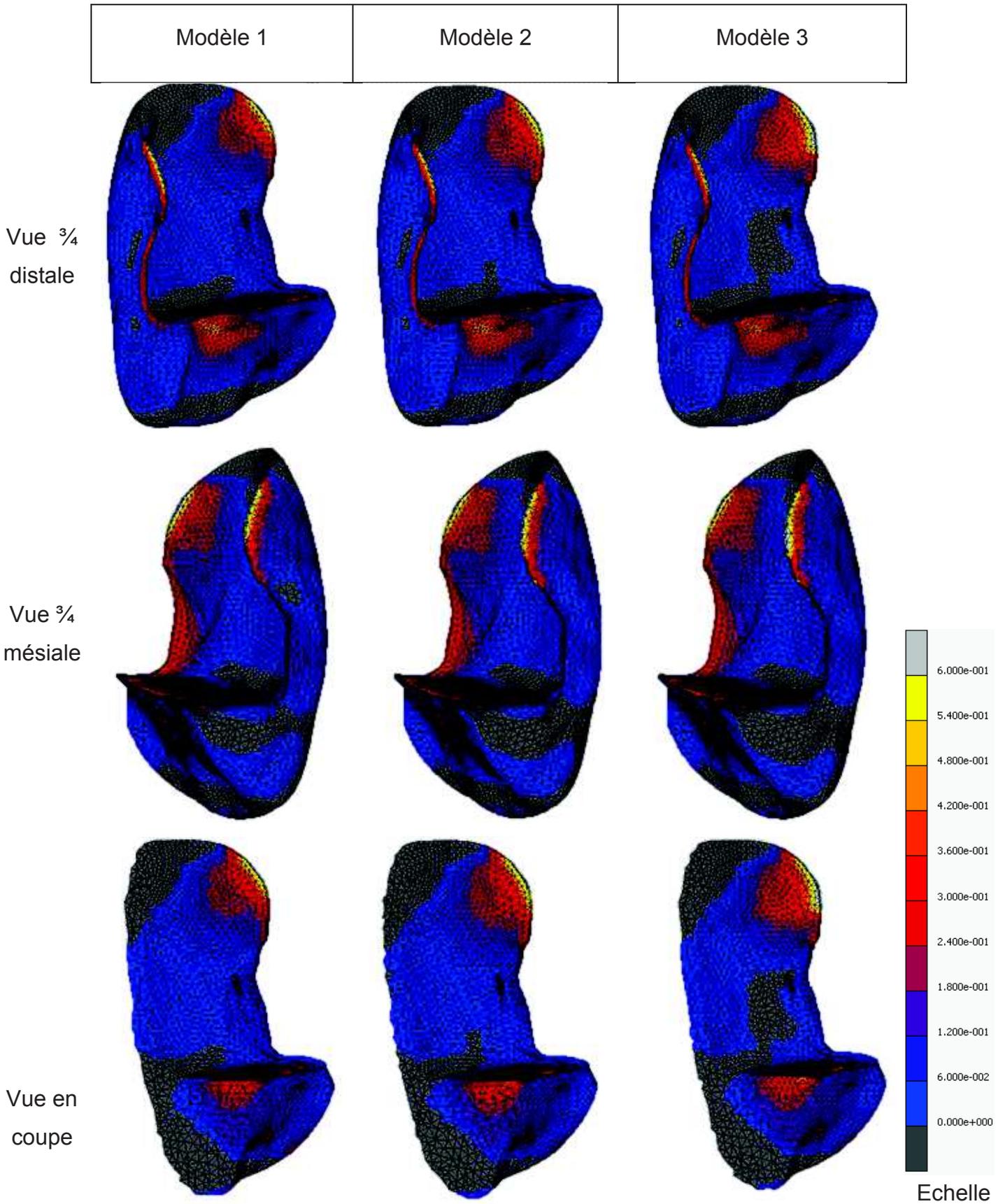


TABLEAU IV - 3 : CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LE BORD LIBRE

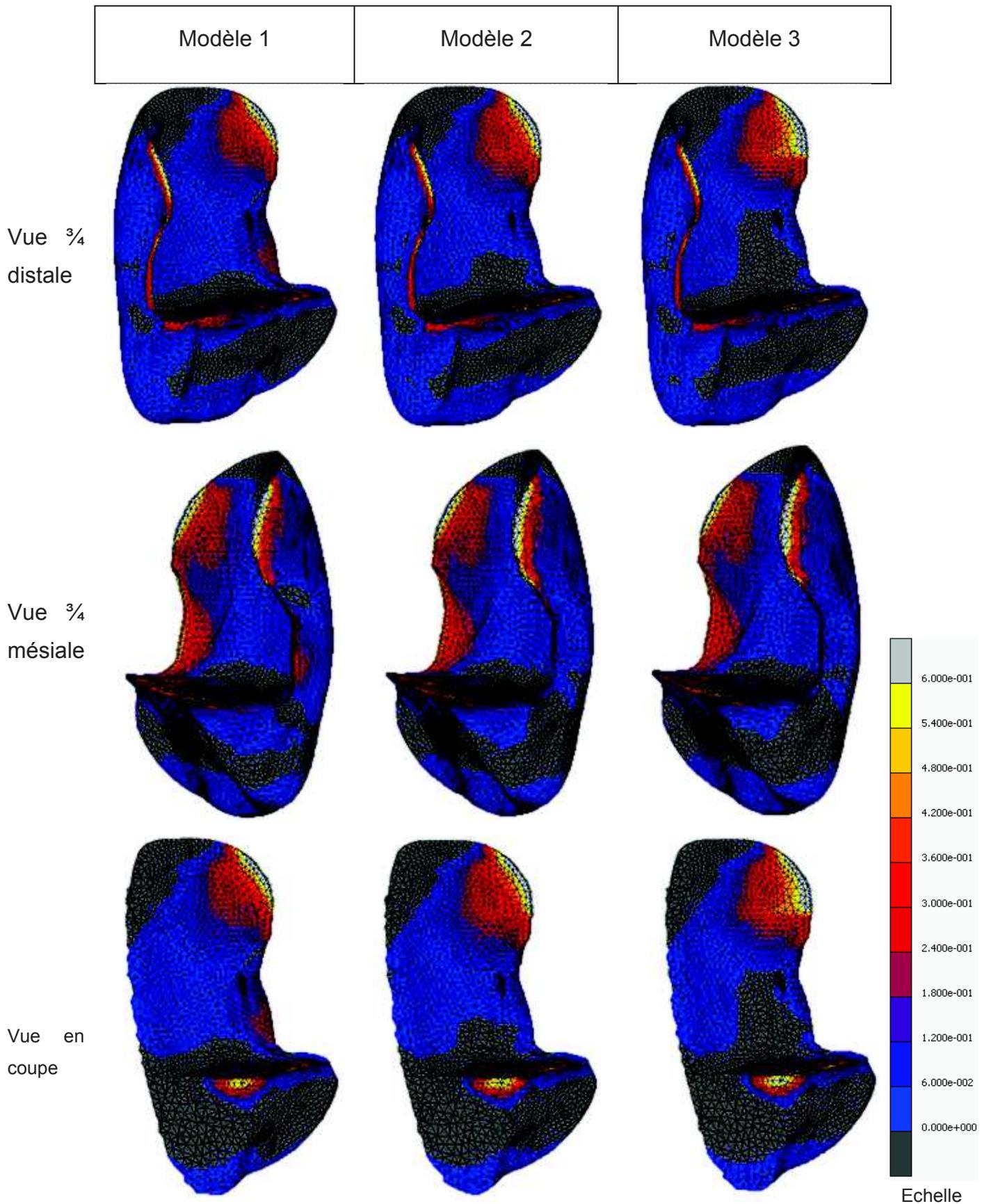


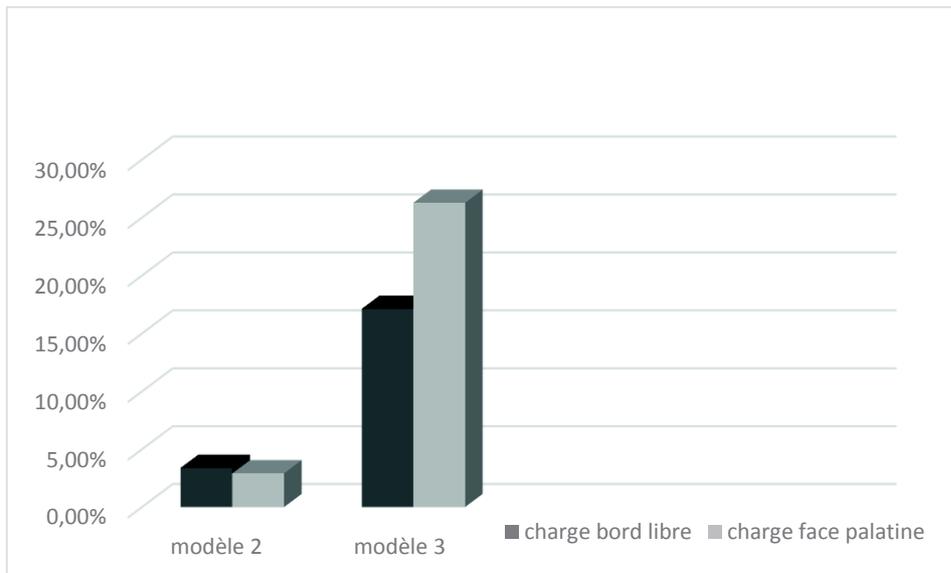
TABLEAU IV - 4 : CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LA FACE PALATINE

Interprétations :

La comparaison de ces analyses des contraintes de traction selon l'axe vestibulo-palatin permettent d'objectiver que :

- Des zones de contraintes de traction, invariantes en intensité d'un modèle à l'autre, se créent lors du chargement.
Ces zones de fragilité se retrouvent d'une part au niveau du bord libre et plus précisément dans la portion de céramique en regard du polymère de collage et d'autre part au niveau de l'extension gingivo-proximale distale.
- Des zones de contraintes de traction, évoluant en intensité d'un modèle à l'autre, se trouvent localisées à proximité de la restauration directe (**Tableau IV - 3 et Tableau IV - 4**).
 - L'extension gingivo-proximale mésiale est fortement sollicitée. La présence d'une restauration directe (modèle 2 et 3) augmente la contrainte de traction dans cette zone. Donc, plus le composite a un module d'élasticité faible, plus la contrainte est importante à ce niveau.
 - La céramique, en regard du composite, présente également des zones de fragilité variant en intensité en fonction du modèle étudié. A l'inverse de l'extension gingivo-proximale mésiale, les contraintes de traction dans cette zone diminue dans les modèles avec composite.

Valeurs maximales :



HISTOGRAMME IV - 2 : VARIATIONS DES CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN DANS LES MODELES AVEC COMPOSITE PAR RAPPORT AU MODELE DE REFERENCE (MODELE 1). EN (%).

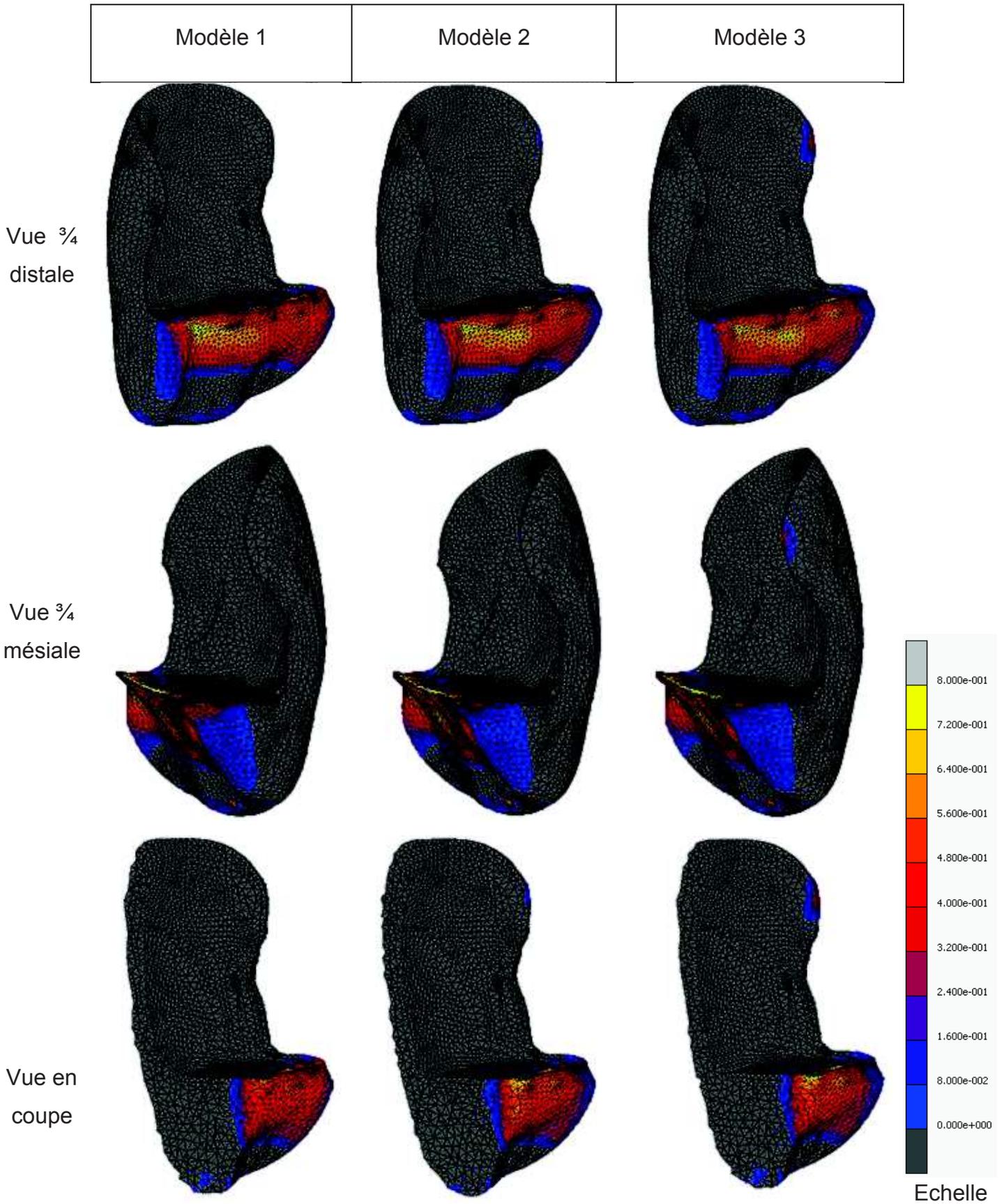
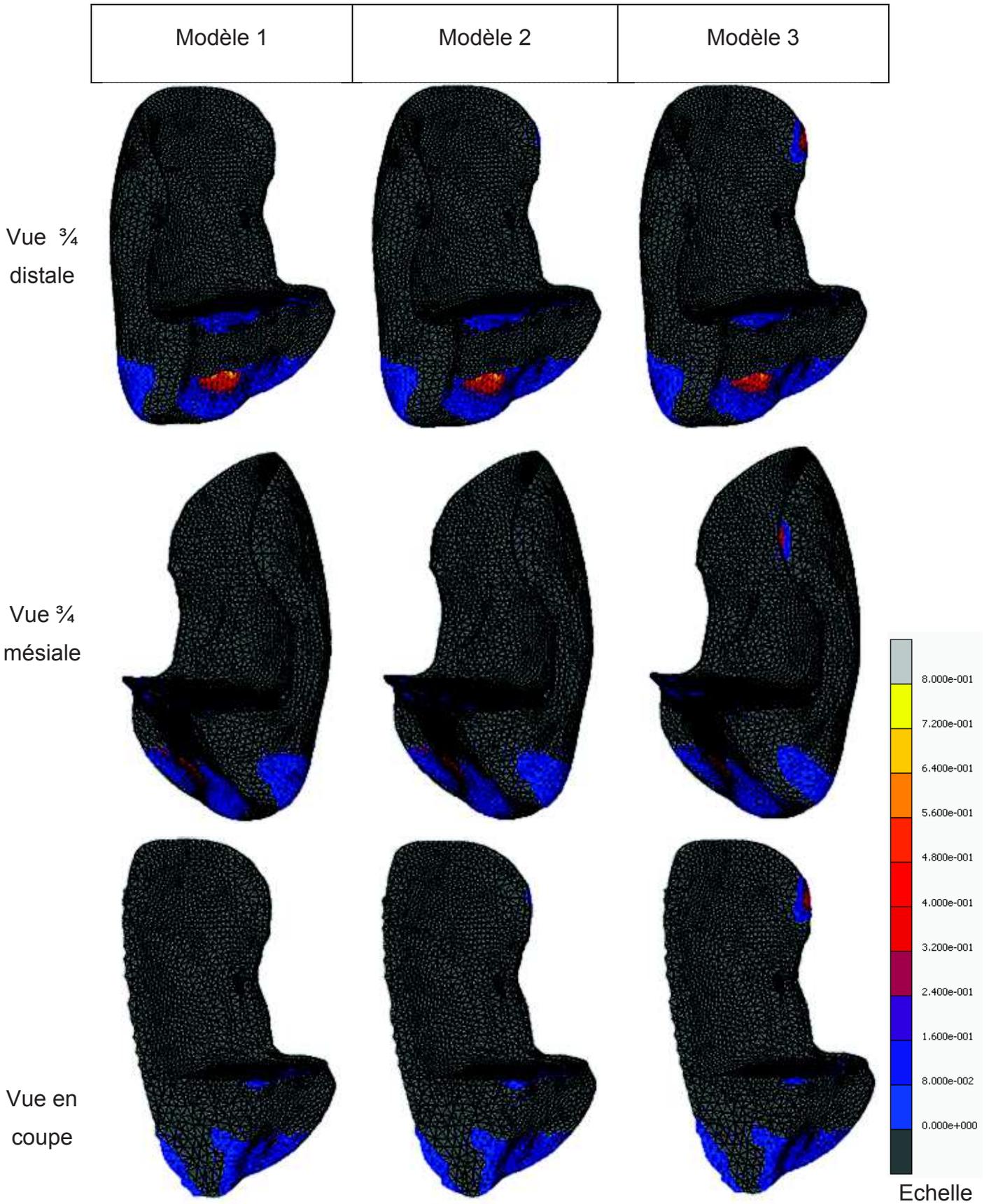


TABLEAU IV - 5 : CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LE BORD LIBRE.



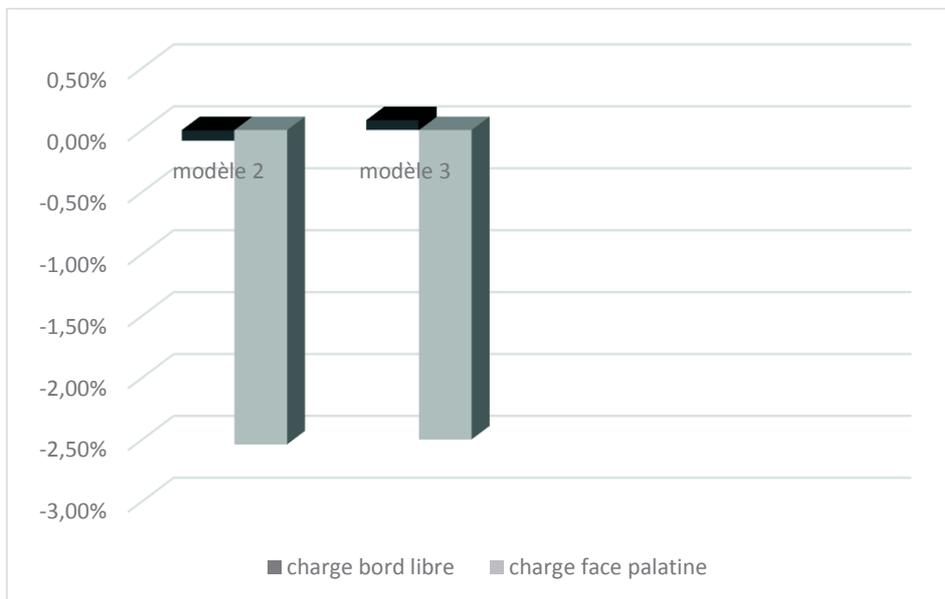
TABEAU IV - 6 : CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LA FACE PALATINE.

Interprétations :

La comparaison de ces analyses des contraintes de traction selon l'axe coronocervical permettent d'objectiver que :

- Des zones de contraintes de traction, invariantes en intensité d'un modèle à l'autre, se créent lors du chargement.
Ces zones de fragilité se retrouvent d'une part au niveau du bord libre et plus précisément dans la portion de céramique en regard du polymère de collage.
- Des zones de contraintes de traction se créent lors de la présence d'une restauration directe (modèle 2 et 3). L'extension gingivo-proximale mésiale se trouve sollicitée et sa sollicitation augmente en présence d'un composite fluide.

Valeurs maximales :



HISTOGRAMME IV - 3 : VARIATIONS DES CONTRAINTES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL DANS LES MODELES AVEC COMPOSITE PAR RAPPORT AU MODELE DE REFERENCE (MODELE 1). EN (%).

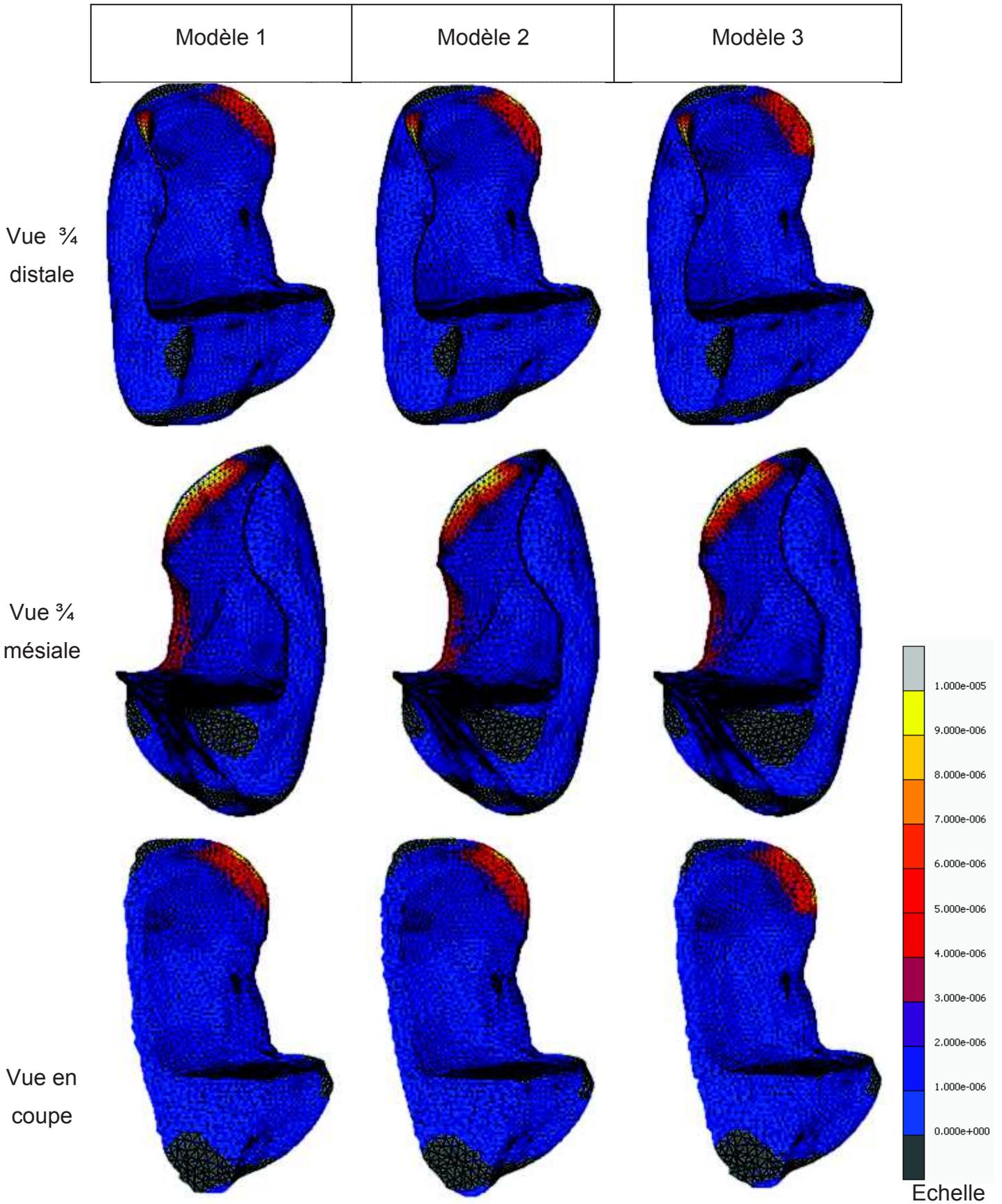


TABLEAU IV - 7 : DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN (MPa) ;
 ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LE BORD LIBRE.

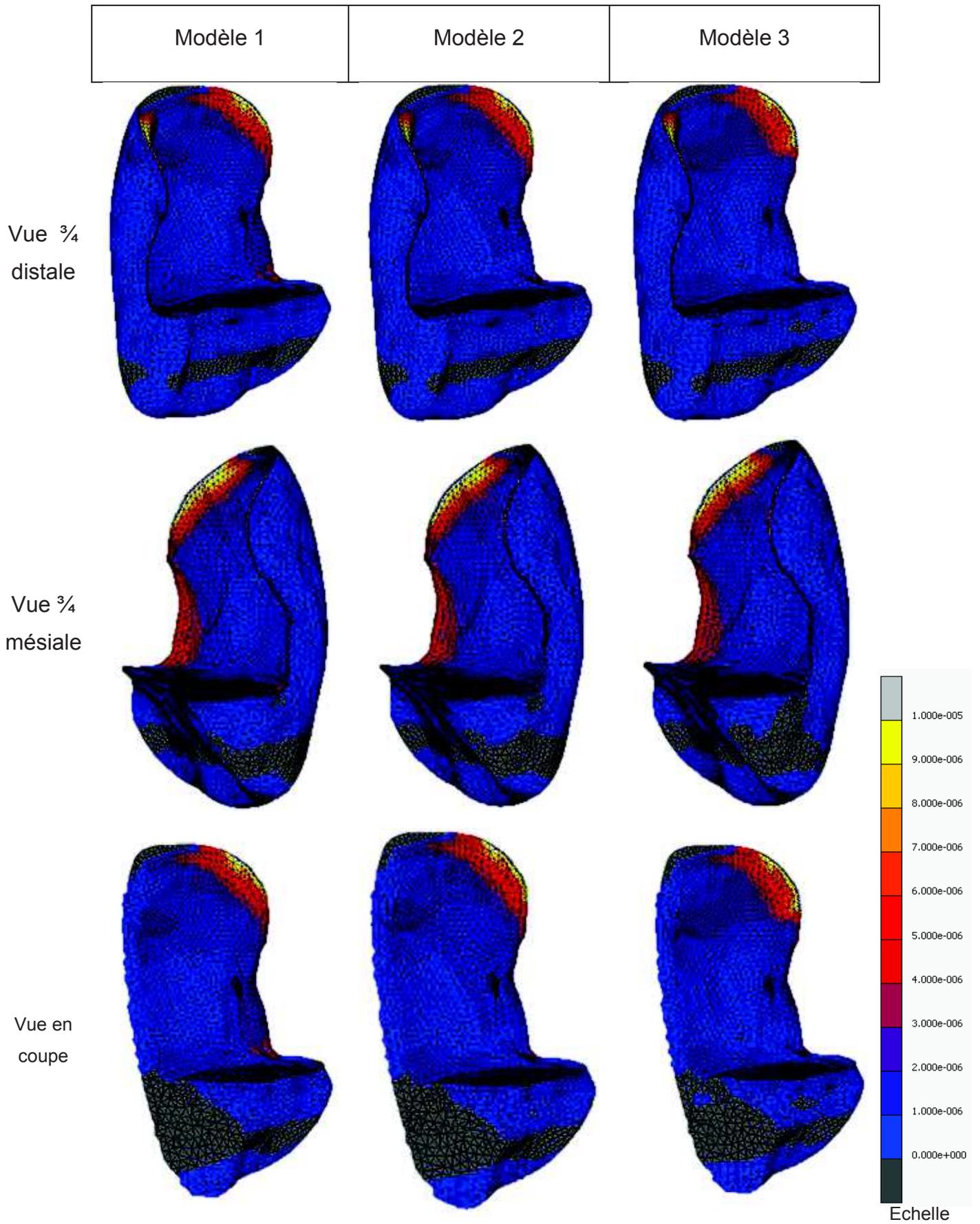


TABLEAU IV - 8 : DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN (MPa) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LA FACE PALATINE.

Interprétations :

La comparaison des analyses des déformations élastiques de traction selon l'axe vestibulo-palatin, permettent d'objectiver que :

- Des zones de déformations élastiques de traction, invariantes en intensité d'un modèle à l'autre, se créent lors du chargement. Elles se trouvent localisées au niveau de la limite cervicale et de l'extension gingivo-proximale distale.
- Des zones soumises à des déformations élastiques de traction, évoluant en intensité d'un modèle à l'autre se trouvent localisées à proximité de la restauration directe.
 - L'extension gingivo-proximale mésiale et la zone de céramique en regard du composite sont fortement sollicitées. La présence d'une restauration directe (modèle 2 et 3) augmente la déformation élastique dans cette zone ; de plus, plus le composite a un module d'élasticité faible, plus la déformation est importante dans cette zone (**Tableau IV - 7 et Tableau IV - 8**).

Valeurs maximales :



HISTOGRAMME IV - 4 : VARIATIONS DES DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE VESTIBULO-PALATIN DANS LES MODELES AVEC COMPOSITE PAR RAPPORT AU MODELE DE REFERENCE (MODELE 1). EN (%).

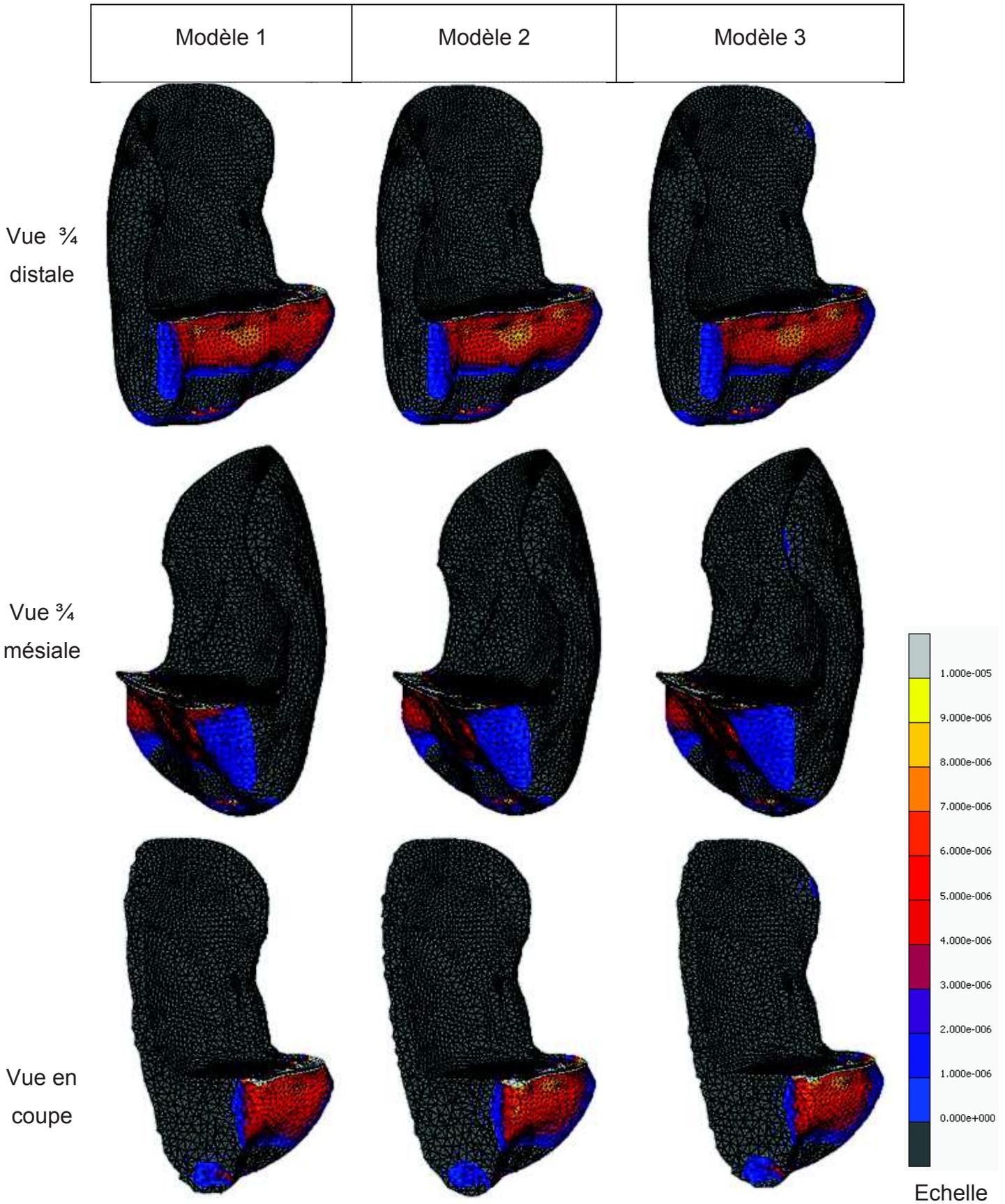


TABLEAU IV - 9 : DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL (MPA) ; ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LE BORD LIBRE.

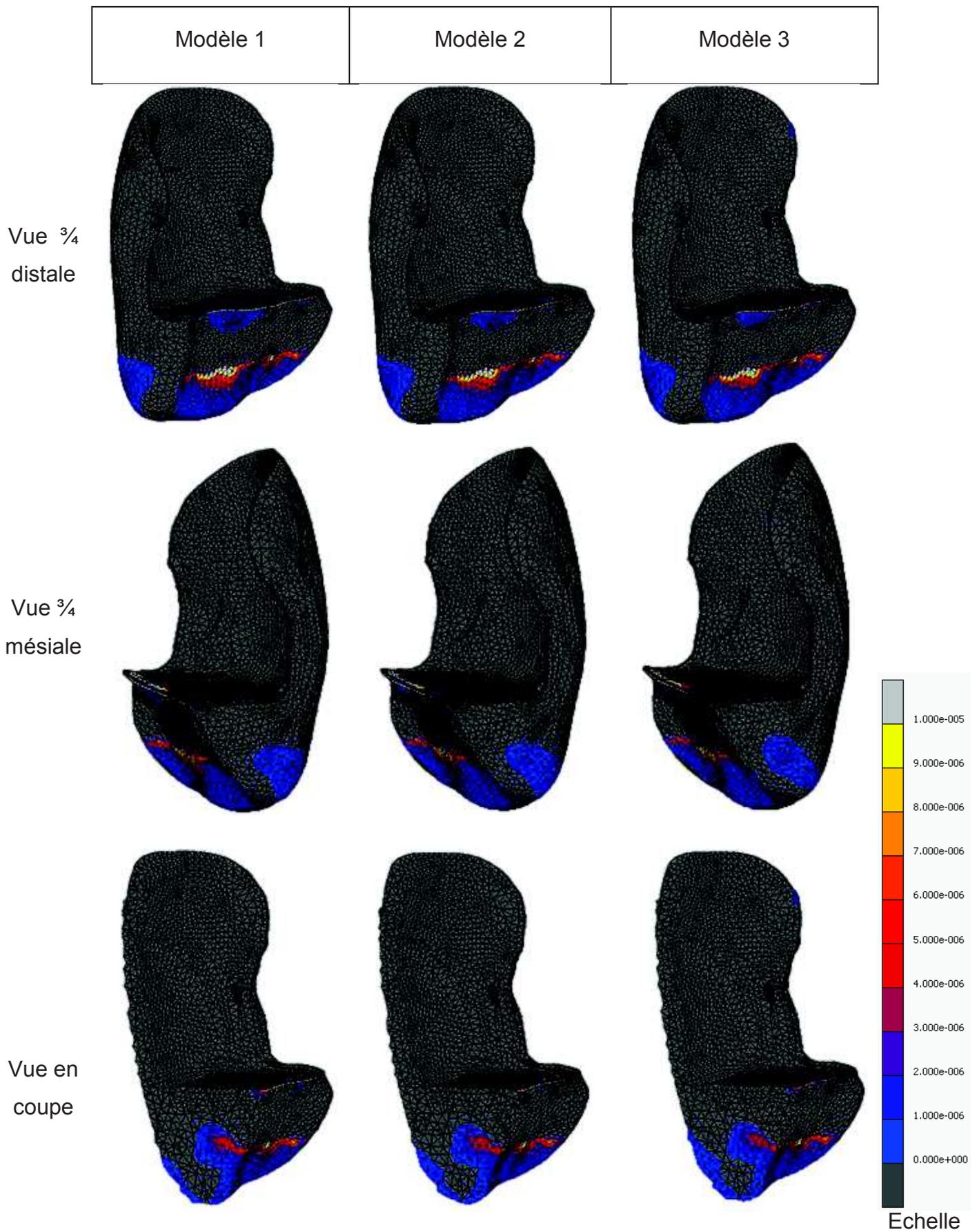


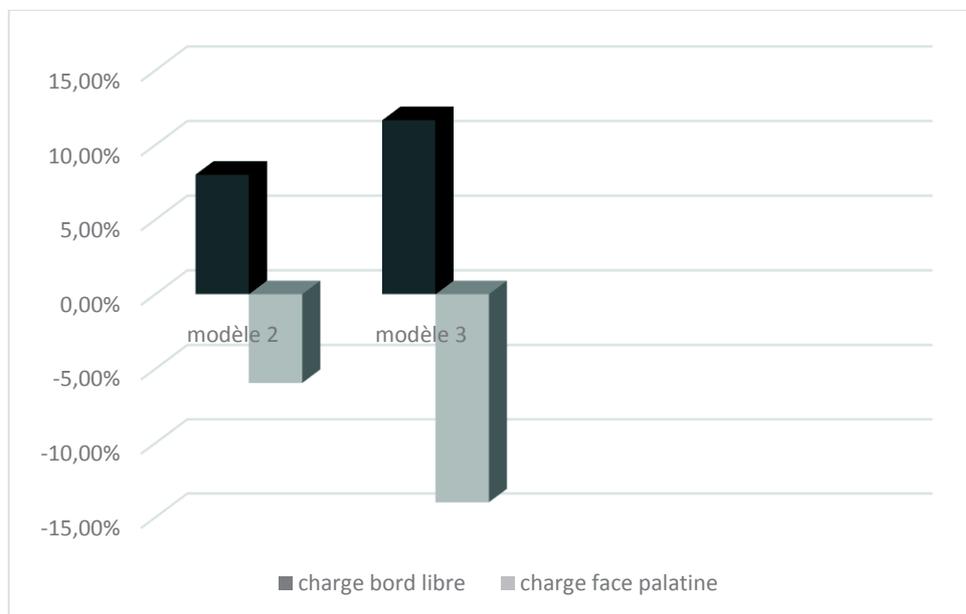
TABLEAU IV - 10 : DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL (MPa) ;
ETUDE DE LA CERAMIQUE POUR UNE CHARGE DE 20N APPLIQUEE A 45° SUR LA FACE PALATINE.

Interprétations :

La comparaison de ces analyses des déformations élastiques de traction selon l'axe corono-cervical permettent d'objectiver que :

- Une déformation élastique de traction, invariante en intensité d'un modèle à l'autre, se crée lors du chargement.
Cette zone de fragilité se retrouve au niveau du bord libre et plus précisément dans la portion de céramique en regard du polymère de collage.
- Des zones de contraintes de traction se créent au niveau de l'extension gingivo-proximale mésiale sur le modèle 3 (**Tableau IV - 9****Tableau IV - 10**).

Valeurs maximales :



HISTOGRAMME IV - 5 : VARIATIONS DES DEFORMATIONS ELASTIQUES DE TRACTION SELON L'AXE CORONO-CERVICAL DANS LES MODELES AVEC COMPOSITE PAR RAPPORT AU MODELE DE REFERENCE (MODELE 1). EN (%).

II. Discussions :

Ce travail n'est qu'une ébauche de ce qui peut être fait dans le domaine des études par éléments finis. De nombreux facteurs limitant l'interprétation peuvent être cités :

- Ce modèle virtuel, bien qu'approchant la réalité, n'est pas fidèle à 100% au modèle naturel. Le ciment n'a pas été isolé et la pulpe n'a pas été modélisée en 3D.
- Le modèle est encastré au niveau des nœuds situés à 2mm apicalement à la jonction couronne-racine.
- Le chargement se produit de manière ponctuelle. Le modèle n'est pas fidèle aux mouvements d'incision ni de protrusion.
- Seul le module d'élasticité et le coefficient de Poisson permettent de caractériser les différents matériaux dans ce modèle.
- La fatigue cycle n'est pas prise en compte.
- L'effet des variations thermiques sur le comportement mécanique des matériaux sont absents de cette étude.
- Le composite et la colle ont été créés informatiquement.

Néanmoins, l'analyse comparative des résultats permet de mettre en évidence, au sein de la céramique, les points de fragilité créés indirectement par l'apport d'un composite au modèle initial, et l'évolution en fonction de ces zones en fonction du type de composite.

Les risques d'échec d'ordre mécanique rencontrés lors des thérapeutiques par facettes en céramiques sont essentiellement (25, 112) :

- La fracture de céramique.
- L'usure du polymère de collage et la décohésion de la facette de son support.

A. Comparaison des différents modèles.

D'un point de vue topographique, **sur le modèle sans composite de restauration directe**, les contraintes se concentrent dans trois zones distinctes ; au niveau de la limite palatine de la préparation et également au niveau des extensions gingivo-proximale et de la limite cervicale de la préparation.

En comparaison au modèle sans composite, **les modèles avec composite** présentent des déformations et des contraintes qui varient exclusivement à proximité de la restauration directe.

Les contraintes de traction ont des valeurs plus élevées, en regard des bords du composite et plus faible en regard du composite, ce phénomène est d'autant plus marqué que le composite a un module d'élasticité faible.

Une zone soumise à des déformations élastiques de traction se crée dans la zone de l'extension gingivo-proximale en contact avec le composite.

Dans les limites de notre étude, il semble que la présence d'un composite de type micro-hybride de classe III et de volume restreint ne perturbe pas grandement le comportement mécanique du système dent-colle-facette.

En revanche, la présence d'un composite fluide, aux caractéristiques mécaniques différentes engendre un accroissement des contraintes maximales de traction dans le sens vestibulo-palatin.

Le modèles se distinguent par des valeurs maximales rapportées dans le Tableau IV - 11 :

	Modèle sans composite de restauration direct		Modèle avec composite miro-hybride		Modèle avec composite fluide.	
	Charge bord libre	Charge face Palatine	Charge bord libre	Charge face palatine	Charge bord libre	Charge face palatine
Contraintes de traction selon axe vestibulo-palatin	1,4	1,7	1,3	1,8	1,6	2,2
Contraintes de traction selon axe corono-cervical	1,1	9,7 ^{e-1}	1,1	9,5 ^{e-1}	1,1	9,0 ^{e-1}
Déformations élastiques de traction selon axe vestibulo-palatin	1,5 ^{e-4}	1,7 ^{e-4}	1,4 ^{e-4}	1,6 ^{e-4}	1,4 ^{e-4}	1,6 ^{e-4}
Déformations élastiques de traction selon axe corono-cervical	7,5 ^{e-5}	4,5 ^{e-5}	8,1 ^{e-5}	4,2 ^{e-5}	8,4 ^{e-5}	3,8 ^{e-5}

TABLEAU IV - 11 : VALEURS MAXIMALES OBTENUS LORS DU CHARGEMENT DES DIFFERENTS MODELES. UNITE : MPA

B. Données issues de la littérature.

En 2000, Magne, Belser et Coll ont objectivé lors d'une étude clinique, une altération minime de la limite palatine de la céramique, essentiellement lorsque le point d'occlusion se situe sur cette marge, néanmoins, le bord libre reste intact et le vieillissement de la céramique semble être négligeable.

Pascal Magne et William Douglas, ont réalisé une étude par la méthode des éléments finis 2D, portant sur les différents types de recouvrement proximal des composites de classe III par la facette en céramique et les tensions générées par les variations de température et le chargement lors du mouvement d'incision. Ils ont pu ainsi aboutir à la conclusion que le recouvrement total du composite par la facette permet de minimiser les effets négatifs de l'expansion/contraction du composite (52).

Conclusions.

De tout temps, le sourire a eu une fonction sociale majeure. Son altération ou sa dysharmonie peut rendre la vie des patients, et plus particulièrement leur interaction avec leur entourage personnel et professionnel, très difficile. Aussi, la réhabilitation d'un sourire reste de nos jours un challenge pour tout praticien. Bien que chaque patient soit unique et qu'unique soit son sourire, de nombreux outils permettant de systématiser l'analyse esthétique et de créer un projet esthétique ont vu le jour ces dernières années. Ces aides permettent ainsi au praticien d'éviter un certain nombre d'erreurs et de rendre le résultat plus ou moins prédictible.

La thérapeutique par facettes en céramique est un traitement fiable si l'on se base sur les différentes études sur le taux de survie des facettes. Elle reste, néanmoins, une thérapeutique des plus praticien-dépendante. En effet, afin d'assurer le résultat escompté et la pérennité des facettes, différents critères doivent être réunis, tels que le choix de la forme de préparation, du polymère de collage et du matériau de restauration.

Or, la décision clinique est parfois compliquée par la présence de restaurations directes préalables, qui conditionnent la forme de la préparation finale et parfois même l'obligation à une préparation périphérique. En effet, la règle communément acceptée impose de recouvrir entièrement toute restauration directe par la facette afin de ne pas générer une limite céramique-composite. A contrario, la conservation d'un composite proximal et la préparation de la facette en son sein, permet de limiter la préparation à la seule face vestibulaire. Compte tenu des enjeux en terme de conservation tissulaire, Il nous a paru intéressant de reconsidérer l'approche traditionnelle par une analyse des aspects mécaniques que peut engendrer une l'option clinique conservatrice.

Pour cela, nous avons eu recours à une analyse par la méthode des éléments finis qui permet de représenter de manière analytique le comportement dynamique de système physique et ainsi d'y rechercher une solution approchée.

Notre modèle complet a été obtenu à partir d'un modèle initial d'incisive centrale maxillaire obtenu par micro-tomodensitométrie, auquel nous avons ajouté et/ou supprimé des éléments. Nous avons ensuite analysé puis comparé le comportement mécanique d'une facette en céramique, soit collée sur cette dent intacte, soit collée sur cette même incisive mais à laquelle nous avons ajouté un composite de classe III. Ce dernier a été affecté de caractéristiques mécaniques simulant soit un composite micro-hybride, soit un composite flow, se distinguant par un module d'Young plus haut et plus faible respectivement.

L'intérêt de ce travail réside à la fois dans l'analyse par éléments finis tri-dimensionnelle mais aussi dans l'utilisation d'un modèle très réaliste puisque issu du micro-scannage d'une préparation de type «butt margin » sur une incisive maxillaire naturelle. La plupart des études publiées dans ce domaine se basaient sur des modèles bidimensionnels et/ou virtuels dont la morphologie était entièrement modélisée. Ce n'est que récemment que des études ont utilisées la méthode du scannage puis du micro-scannage afin d'acquérir un modèle virtuel.

Nous avons réalisé différents types d'analyses et représenté plus particulièrement les contraintes de Von Mises ainsi que les contraintes et déformations élastiques en traction qui impactent directement la céramique. Dans les limites de notre étude, nous pouvons avancer, après comparaison des trois modèles analysés (sans composite, avec composite micro-hybride, avec composite Flow) les conclusions suivantes :

- une facette de type « butt margin » collée sur une incisive maxillaire intacte présente des zones de fragilité au niveau de ses limites cervicales et de ses extensions gingivo-proximales. Ces zones pourraient être le siège de chipping et/ou de microleakage ;
- la présence d'un composite de classe III crée, à sa proximité directe, des zones de contraintes en traction dans la céramique. Le risque de microleakage et de décohésion serait donc augmenté très légèrement à ce niveau, en particulier lorsqu'un composite de faible module d'Young est utilisé.

L'extrapolation de ces données à la clinique reste un exercice périlleux. Toutefois, il nous paraît possible d'avancer quelques recommandations. Ainsi, en premier lieu, la volonté de limiter la préparation à la face vestibulaire sans englober une restauration directe, doit rester réservée aux cas très favorables (volume du composite limité,

forces occlusales légères). En second lieu, tout composite pré-existant doit être renouvelé, en privilégiant l'usage d'un composite à module d'Young élevé et en assurant un collage optimal (système MR, champ opératoire).

Notre étude constitue une analyse limitée aux aspects mécaniques de la restauration et une validation sous la forme d'une étude clinique prospective ou rétrospective devrait permettre de conforter ces premiers résultats théoriques.

SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

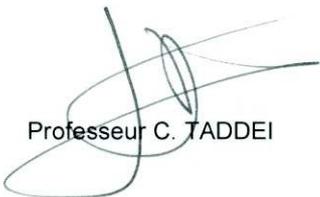
Nom - prénom de l'impétrant : FLAUS Grégoire

Titre de la thèse : Facette et recouvrement partiel d'un composite de classe III : analyse
par éléments finis des contraintes mécaniques.

Directeur de thèse : Docteur Olivier ETIENNE

VU

Strasbourg, le : **07 JAN. 2016**
Le Président du Jury,


Professeur C. TADDEI

VU

Strasbourg, le : **07 JAN. 2016**
Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,


Professeur C. TADDEI

Références bibliographiques

1. Tirlet Gil AJ. Le gradient thérapeutique. *L'information dentaire*. 2009;41/42:2561-8.
2. Schmidt KK, Chiayabutr Y, Phillips KM, Kois JC. Influence of preparation design and existing condition of tooth structure on load to failure of ceramic laminate veneers. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2011;105(6):374-82.
3. Gurel G. Les facettes en céramiques : de la théorie à la pratique. 2005.
4. J. C. Porcelain laminate veneers : criteria for predictability. *Revue d'odonto-stomatologie*. 2008;37:287-315.
5. Pierrisnard L DC, François G. . Les facettes céramiques collées : conséquences mécaniques de différents types de préparation coronaire. *Les cahiers de prothèse*. 1998;102:23-32.
6. Stappert CF, Stathopoulou N, Gerds T, Strub JR. Survival rate and fracture strength of maxillary incisors, restored with different kinds of full veneers. *Journal of oral rehabilitation*. 2005;32(4):266-72.
7. D. TBMPN. *Dentisterie esthétique et restaurations en céramique*. Reuil-Malmaison : Edition CDP. 2000:336 p.
8. Belser UC, Magne P, Magne M. Ceramic laminate veneers: continuous evolution of indications. *Journal of esthetic dentistry*. 1997;9(4):197-207.
9. Magne P, Belser UC. *Restaurations adhésives en céramique sur dents antérieures*. Paris : Quintessence International. 2003.
10. Maria A, Maria P. *Traitement des dyschromies en odontologie*. Reuil-Malmaison : Edition CDP. 2006.
11. Faucher J-A, Pignoly C, Koubi G, Brouillet J-L, Humeau A, Toca E, et al. Les dyschromies dentaires : de l'éclaircissement aux facettes céramiques. Reuil-Malmaison : Edition CDP. 2001.
12. Ratnaweera PM, Fukagawa N, Tsubota Y, Fukushima S. Microtensile bond strength of porcelain laminate veneers bonded to fluorosed teeth. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2009;18(3):205-10.
13. Ermis RB, De Munck J, Cardoso MV, Coutinho E, Van Landuyt KL, Poitevin A, et al. Bonding to ground versus unground enamel in fluorosed teeth. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2007;23(10):1250-5.
14. Caron G, Machtou P. Oblitération canalaire cas particuliers des dents traumatisées. *L'information dentaire*. 2009;32:1754-9.
15. Mirabella AD, Kokich VG, Rosa M. Analysis of crown widths in subjects with congenitally missing maxillary lateral incisors. *European journal of orthodontics*. 2012;34(6):783-7.
16. Garib DG, Alencar BM, Lauris JR, Baccetti T. Agenesis of maxillary lateral incisors and associated dental anomalies. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2010;137(6):732 e1-6; discussion -3.
17. De Coster PJ, Marks LA, Martens LC, Huysseune A. Dental agenesis: genetic and clinical perspectives. *Journal of oral pathology & medicine : official publication of the International Association of Oral Pathologists and the American Academy of Oral Pathology*. 2009;38(1):1-17.
18. Polder BJ, Van't Hof MA, Van der Linden FP, Kuijpers-Jagtman AM. A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth. *Community dentistry and oral epidemiology*. 2004;32(3):217-26.

19. Pena CE, Viotti RG, Dias WR, Santucci E, Rodrigues JA, Reis AF. Esthetic rehabilitation of anterior conoid teeth: comprehensive approach for improved and predictable results. *The European journal of esthetic dentistry : official journal of the European Academy of Esthetic Dentistry.* 2009;4(3):210-24.
20. Etienne O. Les facettes en céramique. Collection Mémento, Edition CDP. 2013.
21. Vallata A. Les limites cervicales en prothèse fixée : concepts et préceptes. PhD thesis, Nancy I. 2011.
22. Wolff D, Kraus T, Schach C, Pritsch M, Mente J, Staehle HJ, et al. Recontouring teeth and closing diastemas with direct composite buildups: a clinical evaluation of survival and quality parameters. *Journal of dentistry.* 2010;38(12):1001-9.
23. Akoglu B, Gemalmaz D. Fracture resistance of ceramic veneers with different preparation designs. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists.* 2011;20(5):380-4.
24. Ferrari M, Patroni S, Balleri P. Measurement of enamel thickness in relation to reduction for etched laminate veneers. *The International journal of periodontics & restorative dentistry.* 1992;12(5):407-13.
25. Gurel G, Morimoto S, Calamita MA, Coachman C, Sesma N. Clinical performance of porcelain laminate veneers: outcomes of the aesthetic pre-evaluative temporary (APT) technique. *The International journal of periodontics & restorative dentistry.* 2012;32(6):625-35.
26. Gurel G. Predictable, precise, and repeatable tooth preparation for porcelain laminate veneers. *Practical procedures & aesthetic dentistry : PPAD.* 2003;15(1):17-24; quiz 6.
27. Bartlett D, Phillips K, Smith B. A difference in perspective--the North American and European interpretations of tooth wear. *The International journal of prosthodontics.* 1999;12(5):401-8.
28. Witkop CJ, Jr. Amelogenesis imperfecta, dentinogenesis imperfecta and dentin dysplasia revisited: problems in classification. *Journal of oral pathology.* 1988;17(9-10):547-53.
29. Etienne O. les facettes céramiques : protocole esthétique dans le cas d'une dysharmonie dento-maxillaire. *Alpha-Omega News.* 2008:118.
30. Koubi S. Traitement d'une dysharmonie du sourire. Démarche diagnostique et clinique. *Les cahiers de prothèse.* 2006;136:13-9.
31. Granell-Ruiz M. Influence of bruxism on survival of porcelain laminate veneers. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2014:426-32.
32. Beier U, Kapferer I, Burtscher D, Dumfahrt H. Clinical performance of porcelain laminate veneers for up to 20 years. *The International journal of prosthodontics.* 2012;25 (1):79-85.
33. Barbour ME, Rees GD. The role of erosion, abrasion and attrition in tooth wear. *The Journal of clinical dentistry.* 2006;17(4):88-93.
34. Lussi A, Jaeggi T. [Abrasion of erosion-altered dental hard tissues--a literature review]. *Schweizer Monatsschrift fur Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO.* 2002;112(6):629-39.
35. Etienne O TC, Paladino F, Serfaty R. Restaurations tout céramique sur dent vitales. *Reuil-Malmaison : Edition CDP.* 2011:128 p.
36. Degrange M. Adhesion: on its way to the apex! *The journal of adhesive dentistry.* 2005;7(2):91.
37. Degrange M. Les systèmes adhésifs amélo-dentinaires. *Réal Clin.* 2005;16:351-64.
38. Etienne O. Préparation des facettes en céramique. *l'information dentaire.* 2012;19:23-6.
39. Perelmuter. Le concept "in-ceram". Edition CdP, Paris. 1993.
40. Koubi S, Tirlet G. Préparation pour facette en céramique collées : du projet prothétique à la prothèse provisoire. *Quintessence du congrès de l'ADF 2012.* 2012.
41. Gurel G. Porcelain laminate veneers: minimal tooth preparation by design. *Dental clinics of North America.* 2007;51(2):419-31, ix.
42. Magne P, Belser UC. Novel porcelain laminate preparation approach driven by a diagnostic mock-up. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al].* 2004;16(1):7-16; discussion 7-8.

43. Fradeani M. Réhabilitation esthétique en prothèse fixée - Volume 1 : analyse esthétique. Paris : Quintessence International. 2006.
44. Paris J, Faucher A. Le guide esthétique - Comment réussir le sourire de vos patients. Paris : Quintessence International. 2003.
45. Zimmermann M, Mehl A. Virtual smile design systems: a current review. *International journal of computerized dentistry*. 2015;18(4):303-17.
46. Pimentel W, Teixeira ML, Costa PP, Jorge MZ, Tiossi R. Predictable Outcomes with Porcelain Laminate Veneers: A Clinical Report. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2015.
47. Etienne O. Préparations pour céramiques collées : technique des masques et préservation tissulaire. *Réal Clin*. 2010;21(4):289-97.
48. Walter B, Dartevelle P. Préparations coronaires périphériques et préparations coronoradiculaires. Collection Mémento, Edition CDP. 2015.
49. Ortet S, Toca E, Tassery H. Apport des instruments soniques et ultrasoniques dans les préparations à visée esthétique. *l'information dentaire*. 2011;19:16-24.
50. Izambert O, Launois C. Facettes collées : évolution des préparations et du choix de type de céramique. *Les cahiers de prothèse*. 2003;124:19-28.
51. Shetty A, Kaiwar A, Shubhashini N, Ashwini P, Naveen D, Adarsha M, et al. Survival rates of porcelain laminate restoration based on different incisal preparations designs : An analysis. *J Conserv Dent*. 2011;14(1):10-5.
52. Magne P, Douglas WH. Interdental design of porcelain veneers in the presence of composite fillings: finite element analysis of composite shrinkage and thermal stresses. *The International journal of prosthodontics*. 2000;13(2):117-24.
53. Della Bona A, Kelly JR. The clinical success of all-ceramic restorations. *Journal of the American Dental Association*. 2008;139 Suppl:8S-13S.
54. Nordbo H, Rygh-Thoresen N, Henaug T. Clinical performance of porcelain laminate veneers without incisal overlapping: 3-year results. *Journal of dentistry*. 1994;22(6):342-5.
55. Kihn PW, Barnes DM. The clinical longevity of porcelain veneers: a 48-month clinical evaluation. *Journal of the American Dental Association*. 1998;129(6):747-52.
56. Meijering AC, Creugers NH, Roeters FJ, Mulder J. Survival of three types of veneer restorations in a clinical trial: a 2.5-year interim evaluation. *Journal of dentistry*. 1998;26(7):563-8.
57. Magne P, Perroud R, Hodges JS, Belser UC. Clinical performance of novel-design porcelain veneers for the recovery of coronal volume and length. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. 2000;20(5):440-57.
58. Peumans M, De Munck J, Fieuws S, Lambrechts P, Vanherle G, Van Meerbeek B. A prospective ten-year clinical trial of porcelain veneers. *The journal of adhesive dentistry*. 2004;6(1):65-76.
59. Fradeani M, Redemagni M, Corrado M. Porcelain laminate veneers: 6- to 12-year clinical evaluation--a retrospective study. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. 2005;25(1):9-17.
60. Du RT, Li Y, Fan DN. [A retrospective study on the long-term clinical outcomes of 310 porcelain laminate veneers]. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi = Zhonghua kouqiang yixue zazhi = Chinese journal of stomatology*. 2009;44(6):343-6.
61. D'Arcangelo C, De Angelis F, Vadini M, D'Amario M. Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. *Clinical oral investigations*. 2012;16(4):1071-9.
62. Rinke S, Lange K, Ziebolz D. Retrospective study of extensive heat-pressed ceramic veneers after 36 months. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. 2013;25(1):42-52.
63. Ozturk E, Bolay S. Survival of porcelain laminate veneers with different degrees of dentin exposure: 2-year clinical results. *The journal of adhesive dentistry*. 2014;16(5):481-9.
64. Strassler HE, Nathanson D. Clinical evaluation of etched porcelain veneers over a period of 18 to 42 months. *Journal of esthetic dentistry*. 1989;1(1):21-8.

65. Calamia JR. Clinical evaluation of etched porcelain veneers. *American journal of dentistry*. 1989;2(1):9-15.
66. Jager K, Stern M, Wirz J. Laminates - Ready for the practice? *Quintessenz*. 1995; Q146:1221-30.
67. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Five-year clinical performance of porcelain veneers. *Quintessence international*. 1998;29(4):211-21.
68. Gilmour AS, Stone DC. Porcelain laminate veneers: a clinical success? *Dental update*. 1993;20(4):167-9, 71-3.
69. Fradeani M. Six-year follow-up with Empress veneers. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. 1998;18(3):216-25.
70. Sieweke M, Salomon-Sieweke U, Zofel P, Stachniss V. Longevity of oroincisor ceramic veneers on canines--a retrospective study. *The journal of adhesive dentistry*. 2000;2(3):229-34.
71. Aristidis GA, Dimitra B. Five-year clinical performance of porcelain laminate veneers. *Quintessence international*. 2002;33(3):185-9.
72. Strassler HE, Weiner S. Seven to ten year evaluation of etched porcelain veneers. *J Dent Res*. 1995:74-176.
73. Shaini FJ, Shortall AC, Marquis PM. Clinical performance of porcelain laminate veneers. A retrospective evaluation over a period of 6.5 years. *Journal of oral rehabilitation*. 1997;24(8):553-9.
74. Strassler HE, Weiner S. Long term clinical evaluation of etched porcelain veneers. *J Dent Res*. 2001:80:60.
75. Burke FJ. Survival rates for porcelain laminate veneers with special reference to the effect of preparation in dentin: a literature review. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. 2012;24(4):257-65.
76. Dunne SM, Millar BJ. A longitudinal study of the clinical performance of porcelain veneers. *British dental journal*. 1993;175(9):317-21.
77. Walls AW. The use of adhesively retained all-porcelain veneers during the management of fractured and worn anterior teeth: Part 2. Clinical results after 5 years of follow-up. *British dental journal*. 1995;178(9):337-40.
78. Pippin DJ, Mixson JM, Soldan-Els AP. Clinical evaluation of restored maxillary incisors: veneers vs. PFM crowns. *Journal of the American Dental Association*. 1995;126(11):1523-9.
79. Friedman MJ. A 15-year review of porcelain veneer failure--a clinician's observations. *Compendium of continuing education in dentistry*. 1998;19(6):625-8, 30, 32 passim; quiz 38.
80. Kreulen CM, Creugers NH, Meijering AC. Meta-analysis of anterior veneer restorations in clinical studies. *Journal of dentistry*. 1998;26(4):345-53.
81. Dumfahrt H, Schaffer H. Porcelain laminate veneers. A retrospective evaluation after 1 to 10 years of service: Part II--Clinical results. *The International journal of prosthodontics*. 2000;13(1):9-18.
82. Smales RJ, Etemadi S. Long-term survival of porcelain laminate veneers using two preparation designs: a retrospective study. *The International journal of prosthodontics*. 2004;17(3):323-6.
83. Wiedhahn K, Kerschbaum T, Fasbinder DF. Clinical long-term results with 617 Cerec veneers: a nine-year report. *International journal of computerized dentistry*. 2005;8(3):233-46.
84. Chen JH, Shi CX, Wang M, Zhao SJ, Wang H. Clinical evaluation of 546 tetracycline-stained teeth treated with porcelain laminate veneers. *Journal of dentistry*. 2005;33(1):3-8.
85. Murphy E, Ziada HM, Allen PF. Retrospective study on the performance of porcelain laminate veneers delivered by undergraduate dental students. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2005;13(1):38-43.
86. Layton D, Walton T. An up to 16-year prospective study of 304 porcelain veneers. *The International journal of prosthodontics*. 2007;20(4):389-96.
87. Guess PC, Stappert CF. Midterm results of a 5-year prospective clinical investigation of extended ceramic veneers. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2008;24(6):804-13.

88. Aykor A, Ozel E. Five-year clinical evaluation of 300 teeth restored with porcelain laminate veneers using total-etch and a modified self-etch adhesive system. *Operative dentistry*. 2009;34(5):516-23.
89. Cotert HS, Dundar M, Ozturk B. The effect of various preparation designs on the survival of porcelain laminate veneers. *The journal of adhesive dentistry*. 2009;11(5):405-11.
90. Burke FJ, Lucarotti PS. Ten-year outcome of porcelain laminate veneers placed within the general dental services in England and Wales. *Journal of dentistry*. 2009;37(1):31-8.
91. Unlu N, Gunal S, Ulker M, Ozer F, Blatz MB. Influence of operator experience on in vitro bond strength of dentin adhesives. *The journal of adhesive dentistry*. 2012;14(3):223-7.
92. Schneider H, Busch I, Busch M, Jentsch H, Hafer M. Effect of operator-specific handling on tooth-composite interface and microleakage formation. *Operative dentistry*. 2009;34(2):200-10.
93. Soderholm KJ, Soares F, Argumosa M, Loveland C, Bimstein E, Guelmann M. Shear bond strength of one etch-and-rinse and five self-etching dental adhesives when used by six operators. *Acta odontologica Scandinavica*. 2008;66(4):243-9.
94. Sano H, Kanemura N, Burrow MF, Inai N, Yamada T, Tagami J. Effect of operator variability on dentin adhesion: students vs. dentists. *Dental materials journal*. 1998;17(1):51-8.
95. Miyazaki M, Onose H, Moore BK. Effect of operator variability on dentin bond strength of two-step bonding systems. *American journal of dentistry*. 2000;13(2):101-4.
96. Ueda M, Mine A, De Munck J, Hakogi T, Van Meerbeek B, Kuboki T. The effect of clinical experience on dentine bonding effectiveness: students versus trained dentists. *Journal of oral rehabilitation*. 2010;37(9):653-7.
97. Zienkiewicz., Taylor. *The finite element method*. 5eme Edition. Volume 1 : les bases. . 2000.
98. Moumnassi M. *La représentation implicite des volumes pour l'analyse par éléments finis avec XFEM et Level-sets*
these doctorat 2011.
99. Magne P. Virtual prototyping of adhesively restored, endodontically treated molars. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2010;103(6):343-51.
100. Li Z, Yang Z, Zuo L, Meng Y. A three-dimensional finite element study on anterior laminate veneers with different incisal preparations. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;112(2):325-33.
101. Chen D, Wang N, Gao Y, Shao L, Deng B. A 3-dimensional finite element analysis of the restoration of the maxillary canine with a complex zirconia post system. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;112(6):1406-15.
102. Holberg C, Winterhalder P, Wichelhaus A, Hickel R, Huth K. Fracture risk of lithium-disilicate ceramic inlays: a finite element analysis. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2013;29(12):1244-50.
103. Magne P, Oganessian T. CT scan-based finite element analysis of premolar cuspal deflection following operative procedures. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. 2009;29(4):361-9.
104. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2007;23(5):539-48.
105. Magne P, Tan DT. Incisor compliance following operative procedures: a rapid 3-D finite element analysis using micro-CT data. *The journal of adhesive dentistry*. 2008;10(1):49-56.
106. Magne P, Belser UC. Rationalization of shape and related stress distribution in posterior teeth: a finite element study using nonlinear contact analysis. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*. 2002;22(5):425-33.
107. Magne P, Perakis N, Belser UC, Krejci I. Stress distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures: a finite element analysis of the influence of restorative materials and abutment preparation design. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002;87(5):516-27.

108. Heichelbeich F. Formes de préparations des facettes en céramique : évaluation à l'aide de la méthode des éléments finis. 2012.
109. May LG, Kelly JR, Bottino MA, Hill T. Effects of cement thickness and bonding on the failure loads of CAD/CAM ceramic crowns: multi-physics FEA modeling and monotonic testing. *Dental materials* : official publication of the Academy of Dental Materials. 2012;28(8):e99-109.
110. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature. *Critical reviews in oral biology and medicine* : an official publication of the American Association of Oral Biologists. 2003;14(1):13-29.
111. Chung SM, Yap AU, Koh WK, Tsai KT, Lim CT. Measurement of Poisson's ratio of dental composite restorative materials. *Biomaterials*. 2004;25(13):2455-60.
112. Influence of preparation design and existing condition of tooth structure on load to failure of ceramic laminate veneers.

FLAUS (Grégoire) – Facette et recouvrement partiel d'un composite de classe III : analyse par éléments finis des contraintes mécaniques.

(Thèse : 3^{ème} cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2016 ; N°7

N°43.22.16.07

Les facettes en céramiques font partie de l'arsenal thérapeutique permettant des réhabilitations esthétiques optimales. Ces artifices s'inscrivent dans un concept de préservation tissulaire, néanmoins, la présence de restaurations directes de type composite préexistantes impose au praticien de modifier la forme de sa préparation. La forme classiquement préconisée, en présence d'un composite, englobe la restauration directe préexistante et présente alors obligatoirement un retour palatin.

Afin d'être plus conservateur, il est tentant de limiter la préparation à la face vestibulaire, en créant alors une limite de facette dans le composite.

Dans ce travail, nous avons étudié, par la méthode des éléments finis, les conséquences mécaniques de ce choix. A partir d'une micro-imagerie et d'une reconstruction tridimensionnelle, nous avons pu enregistrer à une résolution de 25µm la préparation pour facette d'une incisive centrale maxillaire afin de la modéliser informatiquement.

Ce modèle de base a ensuite été transformé en y ajoutant un composite de classe III. Ceci nous a permis d'aboutir à trois modèles à partir d'une préparation, et ainsi de pouvoir comparer les déformations et les contraintes appliquées sur la facette dans les différents cas de figures.

A l'analyse de nos résultats, il ressort qu'en comparaison au modèle sans composite, les modèles avec composite présentent des déformations et des contraintes qui varient exclusivement à proximité de la restauration directe. Il semble que la présence d'un composite de type micro-hybride de classe III et de volume restreint ne perturbe pas grandement le comportement mécanique du système dent-colle-facette. En revanche, la présence d'un composite fluide, aux caractéristiques mécaniques différentes (module d'Young plus faible) engendre un accroissement des contraintes maximales de traction dans le sens vestibulo-palatin.

Dans les limites de ce travail, Il paraît donc envisageable d'avancer les recommandations suivantes :

- une préparation se limitant exclusivement à la face vestibulaire sans englober une restauration directe, doit rester réservée aux cas très favorables,
- tout composite préexistant doit être renouvelé, en privilégiant l'usage d'un composite à module d'Young élevé et en assurant un collage optimal (système MR, champ opératoire).

Rubrique de classement : Odontologie

Mots clés : Facette, céramique, composite, éléments finis, préparation.

Me SH: Veneer, ceramic, direct composite resin, finite element, preparation.

Jury :

Président : Professeur TADDEÍ Corinne

Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur SERFATY René
Docteur KRIER Joël
Docteur CHOQUET Philippe
Docteur HEICHELBECH Frédéric

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :

G.FLAUS

10 rue de Castelnaud

68000 COLMAR

Adresse de messagerie :

gregoire.flaus@gmail.com