LIVRE BLANC FORMLABS :

Production de modèles dentaires numériques par impression 3D haute précision

Michael D Scherer, DMD, MS [a,b,c]

[a] Dentiste privé, Sonora, Californie.

[b] School of Dentistry, Loma Linda University, Loma Linda, Californie.

[c] School of Dental Medicine, University of Nevada, Las Vegas; Las Vegas, Nevada, Mars 2017 | **formlabs.com**

formlabs

Sommaire

Résumé 3

Au sujet de l'auteur 3

Introduction 4

Précision et exactitude de l'impression 3D 5

Définition des besoins cliniques
de précision des modèles dentaires 6

Exactitude clinique 7

Méthodes d'évaluation tactile 8

Méthodes d'évaluation optique 8

Traduction des mesures cliniques
en spécifications pour l'impression 9

Évaluation de l'exactitude de l'impression 3D 10

Méthodologie 10

Résultats 11

Étude de cas : Couronne céramique mandibulaire 12

Comparaison avec d'autres systèmes d'impression 3D 13

Conclusion 15

Références 16

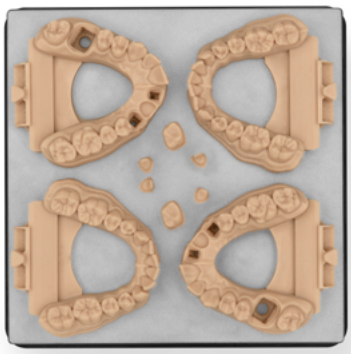
En savoir plus 17

Résumé

La pratique de l'odontologie clinique requiert l'usage de très nombreux modèles physiques et des tissus buccaux du patient. Les méthodes numériques de fabrication de ces modèles, telles que l'impression 3D, se sont largement répandues pour résoudre de nombreux problèmes rencontrés avec les méthodes de production traditionnelles. Jusqu'à récemment, l'impression 3D de grande précision était synonyme d'appareils de très grande taille et onéreux. Mais avec les progrès réalisés par la technologie de l'impression 3D de bureau, les praticiens adoptent la fabrication additive parce qu'elle est devenue rentable dans le processus de la fabrication de modèles numériques. J'ai travaillé très étroitement avec Formlabs pour établir des relevés de mesures cliniques pertinentes afin de réaliser une étude de la précision lors de l'utilisation de la résine Dental Model sur l'imprimante stéréolithographique Form 2. Les résultats de cette étude montrent que la résine Dental Model de Formlabs permet de fabriquer des modèles avec dies amovibles avec la précision et la cohérence requises pour les interventions cliniques. Nous avons également fabriqué des modèles sur la Form 2 avec la résine Dental Model dans le cadre d'une étude de cas pour tester l'adéquation d'une couronne mandibulaire en céramique, posée avec succès sur le patient.

Au sujet de l'auteur

Michael Scherer, DMD, MS est professeur clinique assistant à l'université de Loma Linda, et instructeur clinique à l'Université du Nevada – Las Vegas. Il est praticien spécialiste en prosthodontie et en implantologie à Sonora, en Californie. Il est membre de l'American College of Prosthodontists, a publié des articles, des DVD, des sessions de formation et des cours complets en ligne sur l'implantologie, la prosthodontie clinique et l'application du numérique aux prothèses montées sur implants. Le Dr. Scherer est un passionné de technologie et d'informatique et s'investit beaucoup dans le domaine de l'implantologie numérique. Cela l'a conduit à développer et utiliser des systèmes de CAO et de FAO en chirurgie dentaire, à mettre en place une planification des implants par TVFC et à élaborer des concepts de radiographie prête à l'emploi. Il publie des vidéos sur les procédures d'implantologie dentaire et d'odontologie numérique, sur cinq chaines YouTube devenues très populaires : « LearnLOCATOR », « LearnLODI », « LearnSATURNO », « LearnLOCATOR F–Tx » et « The 3D Dentist ».
Il a également un blog sur l'impression 3D, où il publie en personne des cours en ligne : **www.michaelschererdmd.com**.



Introduction

Les scanners intra-oraux ont énormément amélioré la pratique des interventions cliniques dentaires et la précision des procédés d'impression [1-4]. Dans ce contexte, l'apparition d'imprimantes 3D de haute précision et d'un coût abordable a constitué un tournant décisif dans le secteur dentaire.

La possibilité de produire des structures dentaires dans le cabinet même du dentiste ou dans un laboratoire, permet de résoudre bien des problèmes qui se posaient en utilisant les techniques traditionnelles[4-5], et et de faire des économies substantielles en coûts et en temps.

Pour que ce changement s'opère, il faut que les praticiens fassent confiance à la précision et l'exactitude des modèles fabriqués avec des systèmes d'impression tridimensionnelle. Pouvoir tester l'enchâssement et la concordance des modèles ainsi fabriqués, comme ceux fabriqués traditionnellement, constitue une étape essentielle du processus orthodontique. Cela fait partie intégrante de la réussite du traitement.

Jusqu'à récemment, le prix et la taille de la plupart des imprimantes 3D professionnelles du marché les réservaient aux laboratoires de grande taille. Dans ce contexte, les imprimantes 3D de bureau, telles que la Form 2 de Formlabs, ont suscité un intérêt considérable puisqu'elles permettent à des labos et des cabinets dentaires, quelle que soit leur taille, de fabriquer des modèles en interne.

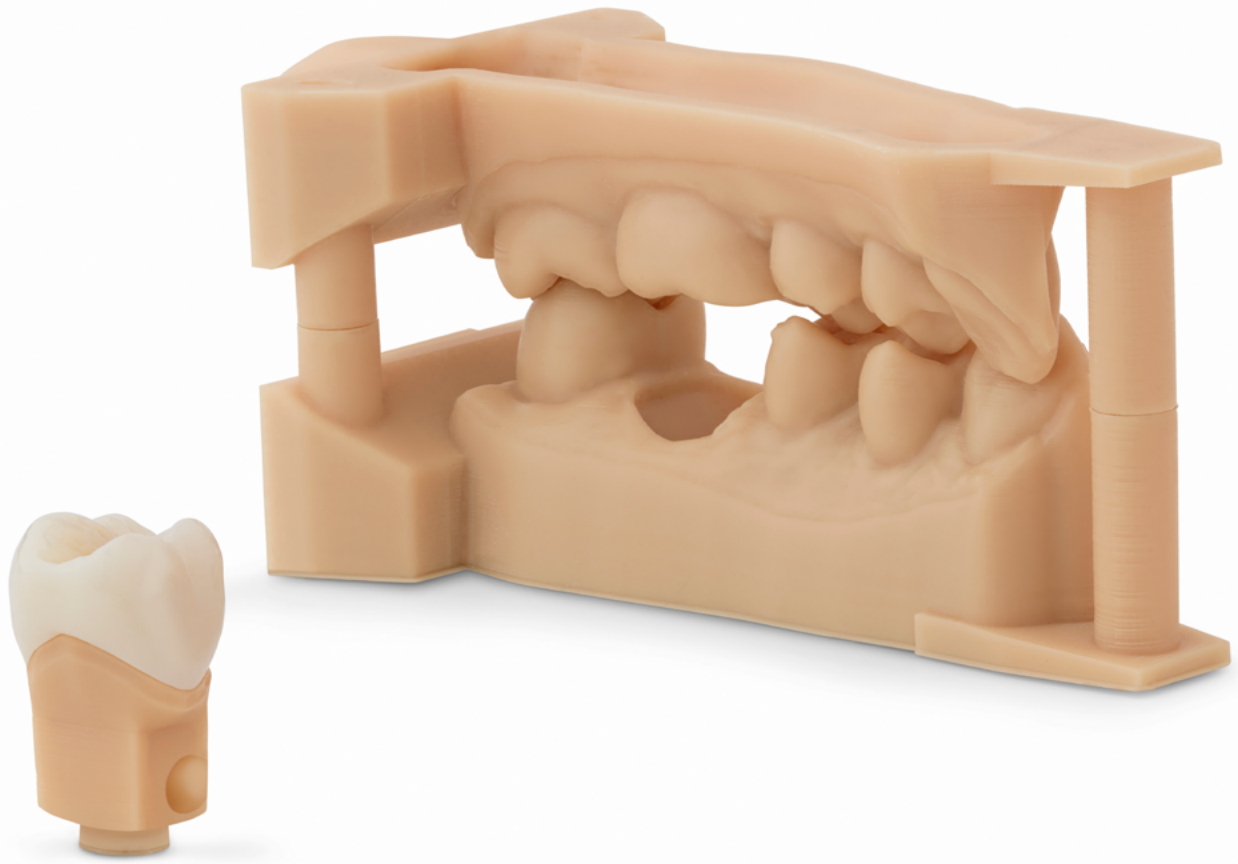
Disposer en interne de cette capacité d'impression 3D, évolutive et rentable, ouvre la voie à une transition progressive vers des processus intégrés et complètement numériques, qui permettent des retours sur investissement rapides. En revanche, pour choisir la technologie numérique dans laquelle investir, il est essentiel de s'assurer de sa précision. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude sur des modèles de bridges et de couronnes avec dies amovibles, fabriqués avec de la résine pour modèle dentaire Formlabs et un grand nombre d'imprimantes Form 2, démontrant qu'un système d'impression 3D de bureau est capable de produire ces pièces de façon répétitive et avec les caractéristiques cliniques et la précision requises. Cette étude de précision a donc testé des imprimantes 3D Form 2 et la résine pour modèles dentaires de Formlabs.

Dans cet article, nous allons d'abord définir la précision et l'exactitude avant de déterminer les spécifications d'impression que nous recherchons. Nous déterminerons ensuite l'ensemble des valeurs qu'un modèle dentaire doit satisfaire pour être cliniquement acceptable, à partir de la documentation existant à ce sujet et d'études déjà réalisées. Ensuite, nous décrirons l'étude menée pour définir les caractéristiques d'impression. L'examen des résultats déterminera si l'imprimante Form 2 peut produire des modèles dentaires acceptables du point de vue clinique. Enfin, nous exposerons une étude de cas, dans laquelle des modèles ont été fabriqués sur une Form 2 avec de la résine pour modèle dentaire afin de tester l'adéquation d'une couronne mandibulaire en céramique, posée avec succès sur un patient.

Précision et exactitude de l’impression 3D

Pour que les caractéristiques d’une impression 3D soient adéquates pourune application, il faut considérer tant l’exactitude que la précision obtenue. L’exactitude désigne la proximité de la valeur mesurée à la valeur réelle. La précision décrit la répétabilité de la mesure, soit la tolérance et la fidélité de la mesure. Il est impératif qu’elles soient toutes deux de niveau acceptable.

Pour répondre à cette question, nous avons examiné les pratiques courantes, la documentation publiée et les études menées à ce sujet. Nous en avons déduit les spécifications attendues d’une imprimante 3D pour les applications dentaires.



Définition de la tolérance requise par les modèles dentaires

Pour qu'un modèle dentaire soit utilisable dans le cas de couronnes ou de bridges, il est essentiel qu'il permette de vérifier l'adaptation marginale de la prothèse. Une bonne adaptation marginale est la clé de la réussite de la restauration dentaire. De grands espaces marginaux peuvent nuire aux taux d'acceptation des restaurations et conduire éventuellement à la dégradation et à la perte prématurée de la restauration. Il est donc essentiel que le modèle dentaire reproduise avec exactitude et précision les dimensions du modèle 3D, aussi appelée ligne marginale de la restauration.

Afin d'utiliser un modèle pour des restaurations importantes et multiples, il est également nécessaire que l'exactitude soit d'un niveau acceptable sur l'ensemble du modèle. Nous avons donc défini deux grandeurs à mesurer pour évaluer l'exactitude des modèles dentaires:

L'EXACTITUDE MARGINALE C'est l'exactitude de reproduction de la ligne marginale et de la surfaces des dies au-dessus de la ligne marginale.

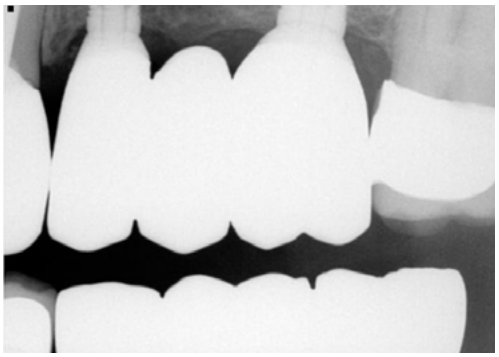
L'EXACTITUDE GLOBALE C'est l'exactitude de l'ensemble du modèle, mesurée sur une arcade complète.

Pour évaluer les spécifications cliniques requises pour ces deux grandeurs, nous avons examiné les techniques utilisées dans la pratique ainsi que la documentation existante et les études déjà réalisées.

Exactitude clinique

L'exactitude d'un modèle utilisé pour une restauration, que ce soit une couronne en céramique, un inlay ou un implant prothétique, est généralement estimée par un praticien ou un technicien de laboratoire. Cette estimation se fait principalement directement, après avoir installé la restauration sur la dent ou l'implant, par des méthodes visuelles, sur radiographie ou autre affichage d'examen aux rayons X, par test par pression alternée des doigts, test à une vis, test de résistance de la vis ou à l'aide d'instruments numériques spécialisés, mais aussi par des méthodes tactiles à l'aide d'un instrument physique.

Il est évident que cette approche donne des résultats qui varient grandement selon les praticiens. Alors qu'il est communément admis par ceux-ci que les restaurations doivent respecter des écarts de tolérance entre 10 et 30 µm, des études d'évaluation menées par Christensen indiquent qu'en pratique, des écarts de tolérance de couronnes aux marges gingivales de 34 µm à 119 µm sont admises[6]. De plus, il a été constaté que près de la moitié des praticiens se révèlent incohérents dans leurs méthodes d'évaluation : parfois, le même praticien estime qu'une restauration n'est pas bien adaptée alors qu'il l'avait acceptée auparavant. Alors que de nombreuses méthodes d'évaluation de restaurations ont été préconisées au cours du temps, les deux préférées restent l'examen tactile avec un instrument et l'examen visuel sur radiographie.



Les images à gauche montrent deux exemples d'appareils partiels sur implant à trois dents. Les deux présentent des restaurations acceptables, mais celle de gauche ne présente aucun écart marginal, alors que celle de droite en présente un, acceptable.

MÉTHODES D'ÉVALUATION TACTILES

De nombreux praticiens utilisent des instruments comme une sonde dentaire pour décider de la qualité de l'adaptation d'une restauration. Ils utilisent la sonde pour déterminer l'enchâssement de la restauration. Si l'instrument repère un écart entre la dent et la ligne marginale, la restauration sera rejetée parce que l'enchâssement ne sera pas satisfaisant. À l'aide d'un microscope électronique, Rappold a montré que l'extrémité d'une sonde dentaire toute neuve présente une épaisseur de 68 µm, ce qui démontre définitivement que de nombreux praticiens peuvent trouver acceptable un écart de cette taille. De plus, ceux-ci n'affutent pas régulièrement leurs instruments ou n'utilisent pas un nouvel instrument pour chaque patient, ce qui leur fait éventuellement accepter des écarts d'adaptation encore plus importants.

Une sonde pour évaluer l'adaptation clinique ou d'une restauration, en la passant sur le contour de la dent. L'extrémité de l'instrument se glisse dans les interstices entre la surface de la dent et de la restauration, ce qui permet au praticien de juger de la qualité de l'adaptation de la prothèse.

MÉTHODES D'ÉVALUATION OPTIQUE

L'évaluation d'une restauration dentaire par radiographie est une méthode importante, utilisée tant par les praticiens eux-mêmes que par des tiers, comme les assurances médicales dentaires. Cette évaluation repose sur une radiographie latérale ou proximale des éléments de la couronne et permet de vérifier que les bords de la dent préparée touchent les lignes marginales de la prothèse. Cette méthode est subjective, mais elle présente un haut niveau de prévisibilité entre praticiens. Cependant, elle est hautement dépendante de l'orientation angulaire de l'appareil de radiographie. Lorsque l'angle augmente, la fiabilité diminue. Un angle de ±10 degrés dans un plan vertical risque d'occulter complètement des interstices au niveau des lignes marginales ou résulter en une erreur d'adaptation de 100 µm[8]. Un angle de près de 20° peut conduire à une erreur pouvant atteindre 700 µm.

De nombreux praticiens utilisent un miroir pour évaluer visuellement les éventuels écarts d'adaptation d'une restauration dentaire.

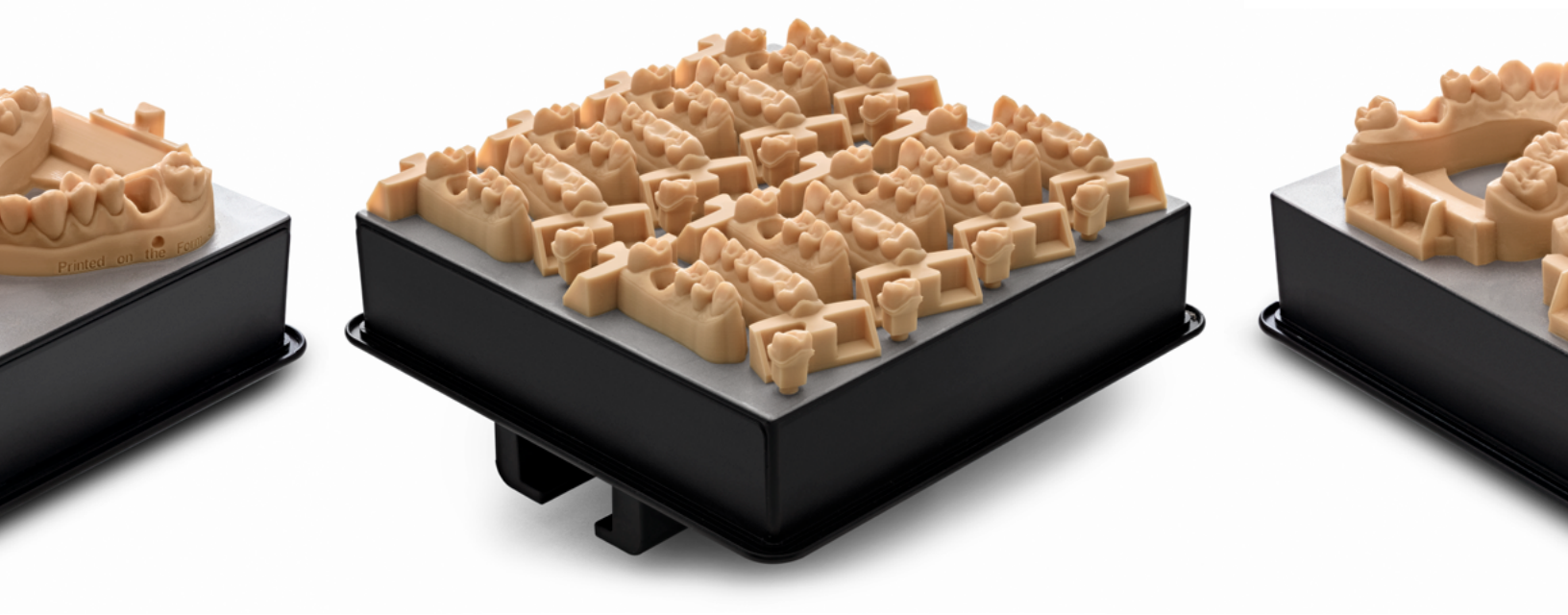
En prenant en considération ces facteurs, les chercheurs ont établi qu'en pratique, l'erreur acceptable d'adaptation d'une restauration se situe dans l'intervalle 50 à 200 µm[8]. Un consensus général existe, reposant sur les nombreux facteurs évoqués dans cette section, selon lequel un praticien moyen considèrera un écart de 100 µm comme l'écart maximum acceptable d'adaptation d'une couronne, d'un implant ou d'une prothèse qui s'ajuste « bien »[8].

Traduction des comparatifs de mesures cliniques en spécifications pour l'impression

Sur la base de ces comparatifs d'acceptabilité clinique, revenons à nos trois mesures de l'exactitude. L'acceptabilité clinique généralement admise se situant dans un intervalle de 100 µm, une tolérance de moitié, soit ±50 µm, serait acceptable. En ce qui concerne les points de contact, il est pertinent d'adopter le même intervalle de ±50 µm. Pour une arcade complète, d'une distance transversale allant de 40 à 60 mm, l'objectif d'un intervalle de ±100 µm a été choisi. Exprimé en pourcentage, cela donnerait ±0,25% à ±0,17%.

Figure 1. Comparatifs de valeurs cliniques pour l'exactitude marginale et l'exactitude globale.

	Objectif clinique pertinent
Exactitude marginale	±50 µm
Exactitude globale	±100 µm



Évaluation de l’exactitude de l’impression 3D

MÉTHODOLOGIE

Nous avons décidé d’évaluer la tolérance et la précision de modèles de bridges et de couronnes avec dies amovibles imprimés en 3D sur la Form 2, avec de la résine pour modèle dentaire, la résine la plus exacte de la gamme Formlabs. Comme la tolérance dépend du matériau, nous l’avons choisie pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

Au total, 148 modèles de différents dies et arcades ont été imprimés directement sur la plateforme de fabrication. Chaque pièce a été retirée de la plateforme après impression, puis nettoyée à l’alcool isopropylique (IPA). Elle a ensuite subi une cuisson UV pendant 60 minutes à 60°C dans une chambre de cuisson UV et enfin scannée à l’aide d’un scanneur optique de bureau 3Shape D900L. Chaque scan de modèle a été comparé au fichier .STL original à l’aide d’un analyseur Convince Analyzer (3Shape).

Les tolérances ont été mesurées sur le 80ème centile de la surface. Les centiles de la surface représentent la proportion de points de cette surface situés à une distance donnée de la position nominale, c’est-à-dire la position souhaitée. De cette façon, une tolérance de ±38 µm pour le 80ème centile de la surface signifie que 80% de la surface se trouve dans l’intervalle de ±38 µm. Ces mesures ont été réalisées sur un ensemble représentatif de six imprimantes Formlabs. Nous pouvons ainsi observer la population d’imprimantes comme un ensemble et non les performances d’une seule imprimante.

Figure 3. Exactitude de l'impression 3D : Surface des lignes marginales et des dies.

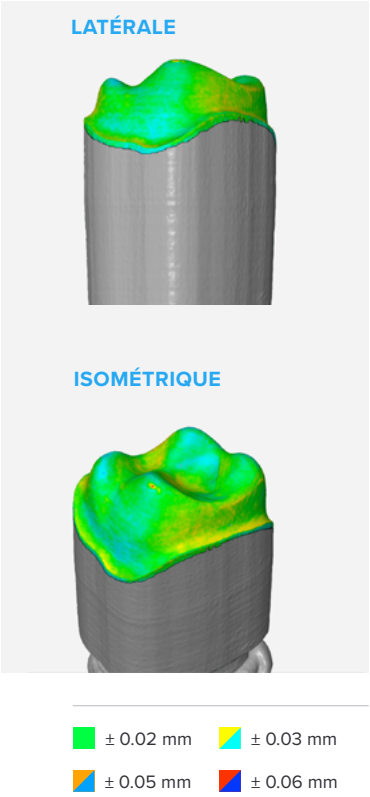
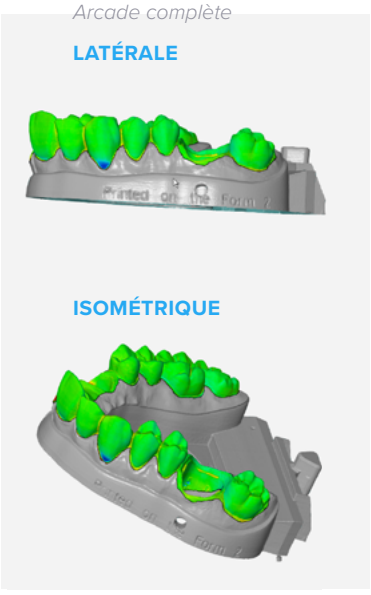


Figure 4. Exactitude de l'impression 3D : Arcade complète



RÉSULTATS

Figure 2. Résultats d'exactitude marginale et globale.

	Objet de référence	Objectif clinique pertinent	Résultats 80ème centile		
			Résultats d'impression à 100 microns (±µm)	Résultats d'impression à 50 microns (±µm)	Résultats d'impression à 25 microns (±µm)
Exactitude marginale	Die amovible	±50 µm	±64.2 µm	±44.7 µm	±30.5 µm
Exactitude globale	Modèle arcade complet	±100 µm	±149.6 µm	±104 µm	±67.9 µm

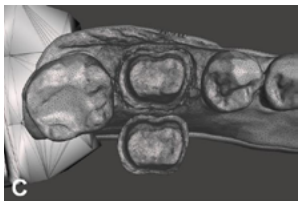
Les résultats de l'étude prouvent de façon solide que l'impression à 50 microns ou à 25 microns d'épaisseur de couche produit des modèles acceptables cliniquement.

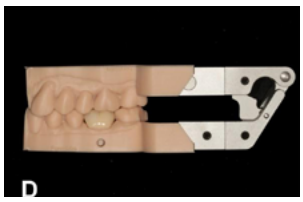
À 100 microns, les valeurs d'exactitudes marginale et globale sont en dehors du domaine d'acceptabilité. Cependant, si l'on prend en compte la variabilité observée des méthodes de tests et d'acceptation clinique, il est intéressant de noter que ces valeurs seraient acceptables pour beaucoup de praticiens.

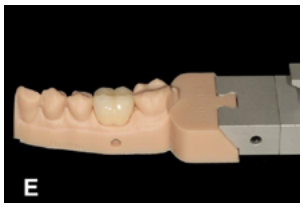
À 50 microns, l'exactitude marginale se trouve dans l'intervalle visé et l'exactitude globale juste à la limite de cet intervalle, sur l'ensemble de l'échantillon. En prenant en compte l'écart-type des mesures, cette dernière est virtuellement dans l'intervalle et son importance du point de vue clinique est pratiquement nulle. Il est donc prouvé que l'impression à 50 microns d'épaisseur de couche produira des modèles de bridges et de couronnes acceptables.

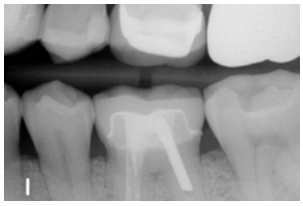
En imprimant à 25 microns d'épaisseur de couche, on atteint le niveau maximum d'exactitude, tant marginale que globale. Si atteindre ces valeurs de haut niveau d'exactitude peut satisfaire certains praticiens, il faut bien noter qu'elles dépassent de beaucoup les objectifs initialement définis, et que la différence entre des impressions à 25 microns et à 50 microns est d'importance pratiquement nulle du point de vue clinique.

L'amélioration de l'exactitude en passant à une épaisseur de couche plus fine provient de la façon dont les modèles 3D discrétisent l'objet en couches en vue de l'impression. Lorsqu'une pièce présente des bords inclinés, qui ne sont ni sur l'axe Z ni dans le plan XY, l'épaisseur des couches détermine le nombre de points discrets que touchent les bords de la pièce. Des couches peu nombreuses et plus épaisses, augmentent les distances entre les points discrets et donnent un profil en escalier. Lorsque les couches sont nombreuses et plus fines, les surfaces résultantes sont plus lisses, plus détaillées parce qu'elles touchent plus de points discrets et sont donc plus proches du scan. Leur exactitude est donc meilleure.









Étude de cas : Couronne céramique unique

Un patient de 52 ans se plaignait d'une « molaire ébréchée au fond de sa bouche ». L'examen clinique avait révélé une fracture de la cuspide distolinguale de la première molaire inférieure droite (dent n°30) (A). La radiographie a confirmé qu'il n'y avait pas de carie et qu'une couronne en céramique était nécessaire.

La couronne a été sectionnée et enlevée avec une fraise en diamant et par manipulation douce. Après amélioration de la préparation, le fil de rétractation gingival a été placé et une impression optique réalisée (B). L'impression optique permet au praticien de fabriquer un modèle numérique fiable de la préparation et de la dentition et des tissus mous se trouvant autour.

Ensuite, l'arcade a été scannée. Les fichiers numériques ont alors été envoyés à un laboratoire pour traitement. Une couronne provisoire a été fabriquée, cimentée et un rendez-vous pris pour la pose.

Les fichiers ont été reçus et les modèles importés et réalisés à l'aide d'un logiciel de CAO dentaire. Trois fichiers ont été créés : 1) un modèle de la dentition opposée, 2) un modèle de la préparation avec un espace correspondant au die, et 3) un modèle du die de préparation (D-F). Chaque fichier a été imprimé individuellement sur une imprimante 3D Form 2, avec de la résine pour modèle dentaire, à 50 microns d'épaisseur de couche. La finition a été réalisée avec le kit de finition Formlabs, avec un rinçage dans de l'alcool isopropylique à 91%, puis une cuisson UV dans une machine industrielle.

Les modèles ont été imprimés avec articulateur (D), ce qui permet au technicien de laboratoire d'articuler physiquement les modèles et de vérifier l'occlusion des éléments de restauration. Une couronne en matériau céramique à base de disilicate de lithium a été fabriquée et ajustée au modèle, en vérifiant les contacts aux dents adjacentes (E) et l'intégrité de la ligne marginale (F).

Le patient est revenu pour recevoir la procédure clinique finale. L'anesthésie a été inutile, la dent provisoire a été enlevée et la préparation nettoyée avant collage. La restauration a été essayée, en vérifiant les contacts, l'adaptation marginale et l'esthétique. Grâce au processus de travail dentaire établi et à la résine dentaire Formlabs, les retouches ont été minimales et la prothèse s'est ajustée avec précision. La couronne a été scellée avec une colle à base de résine (G-H). Une radiographie a permis de vérifier que tout le ciment avait bien été retiré (I). La qualité de l'occlusion a été vérifiée et la prothèse a été polie. Le patient était très à l'aise et content de sa nouvelle dent.

Comparaison avec d'autres systèmes d'impression 3D

Les présents résultats ne concernent que l'imprimante 3D Form 2. Ils démontrent qu'une imprimante 3D de bureau peut atteindre de hauts niveaux de performances cliniques pour la fabrication de modèles dentaires. Cependant, ces résultats ne parlent pas particulièrement des performances d'autres imprimantes 3D de bureau, ni de celles spécialisées en fabrication de produits dentaires.

Nous avons donc cherché à les comparer avec celles d'autres imprimantes 3D. Le problème inhérent à la comparaison de différentes imprimantes réside dans la difficulté résultant du manque de normes communes.

La description de l'exactitude par la résolution XY est l'une des erreurs couramment rencontrées. Dans la technologie DLP (Digital Light Processing), la résolution XY est la taille des pixels projetés. De nombreux systèmes d'impression 3D utilisent cette grandeur ou bien la résolution XY pour définir l'exactitude globale. Ils utilisent une taille de pixels projetés de 75 microns et déclarent que l'exactitude de l'appareil est de ±75 microns.

Cette donnée n'a aucune conséquence sur ce que sera la précision de l'imprimante. Il existe de nombreuses sources d'erreur qui affectent aussi la précision, parmi lesquels les composants, la calibration, le rétrécissement des pièces après impression et bien d'autres encore.

Enfin, comme nous l'avons souligné dans notre étude, la méthode scientifique de détermination de l'exactitude et de la précision consiste à imprimer et mesurer des pièces imprimées réelles. Afin de mesurer la précision et pour que les mesures soient statistiquement significatives, il faut étudier un échantillon de grande taille et un ensemble représentatif d'imprimantes.

En raison de ressources limitées, il n'a pas été possible de réaliser une comparaison aussi complète. Cependant, afin d'obtenir une première idée de la façon dont les résultats de cette étude sur la Form 2 peuvent être comparés à ceux obtenus avec d'autres imprimantes, nous les avons comparés à ceux obtenus avec deux imprimantes 3D grand format bien connues, l'une coûtant 35 000 $ et l'autre, 75 000 $. Nous avons pour cela imprimé une même pièce sur la Form 2 et sur chacun des autres systèmes.

En ce qui concerne la précision, ces deux tests ont montré qu'il était pratiquement impossible de distinguer les résultats obtenus avec la Form 2 de ceux obtenus avec les deux autres systèmes. En raison des limites en temps et en ressources, seuls deux modèles de référence ont été comparés, ce qui limite également la qualité statistique de cette comparaison. Nous pouvons néanmoins démontrer qu'en matière d'exactitude, la Form 2 se comporte exactement aussi bien que les autres systèmes bien connus.

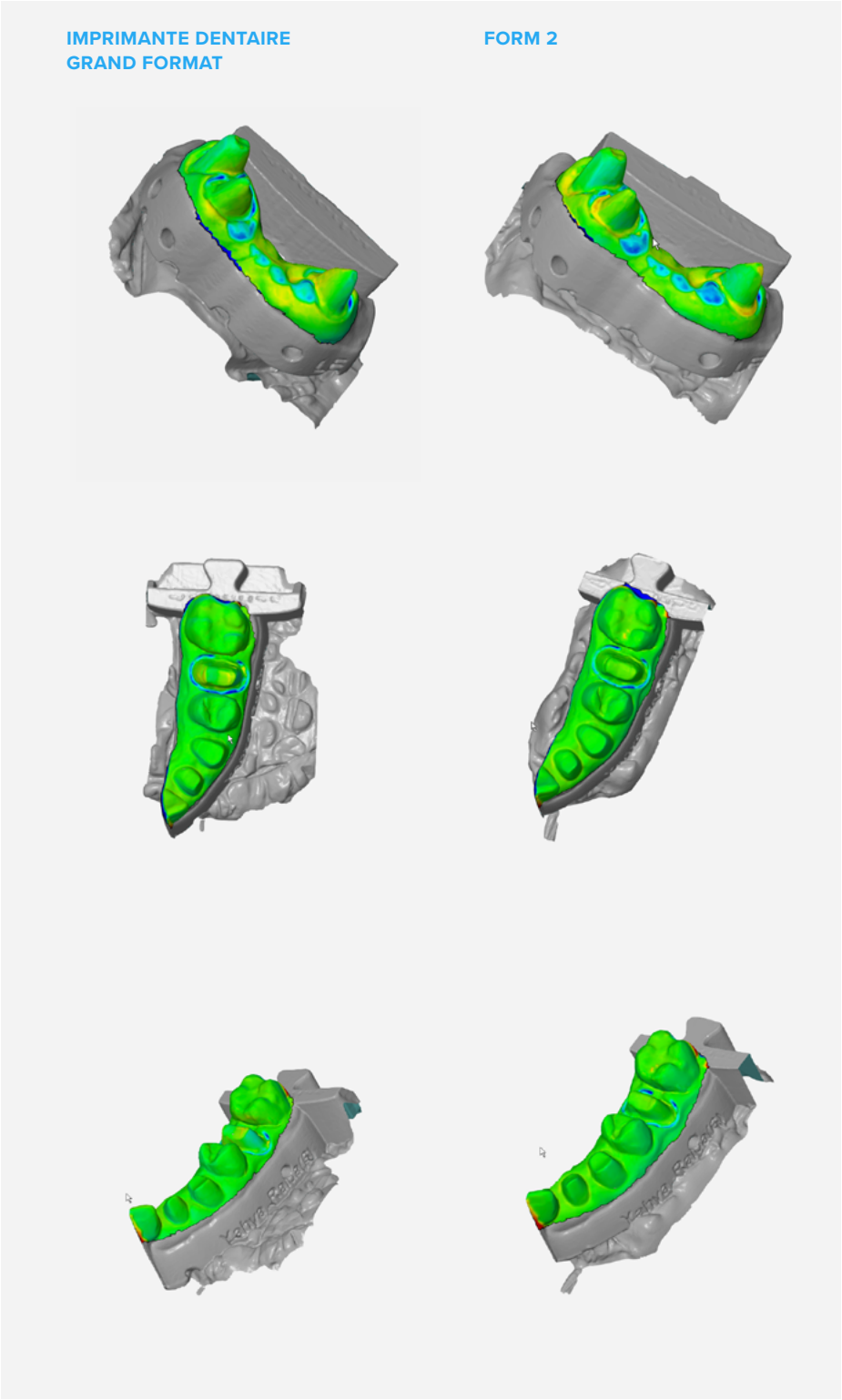


Figure 5. Exactitude de l'impression 3D des modèles :

Nous avons scanné et imprimé deux modèles sur une imprimante grand format utilisée actuellement dans le secteur dentaire (le premier en ligne 1 et le second en ligne 2 et 3), ainsi que sur la Form 2 de Formlabs (sur la colonne de droite). Comme on peut le voir sur la carte des différences thermiques, l'exactitude de chacune des imprimantes est sensiblement la même. L'imprimante de grande taille coûte environ 75 000 $, alors que la Form 2 coûte 3 499 $.

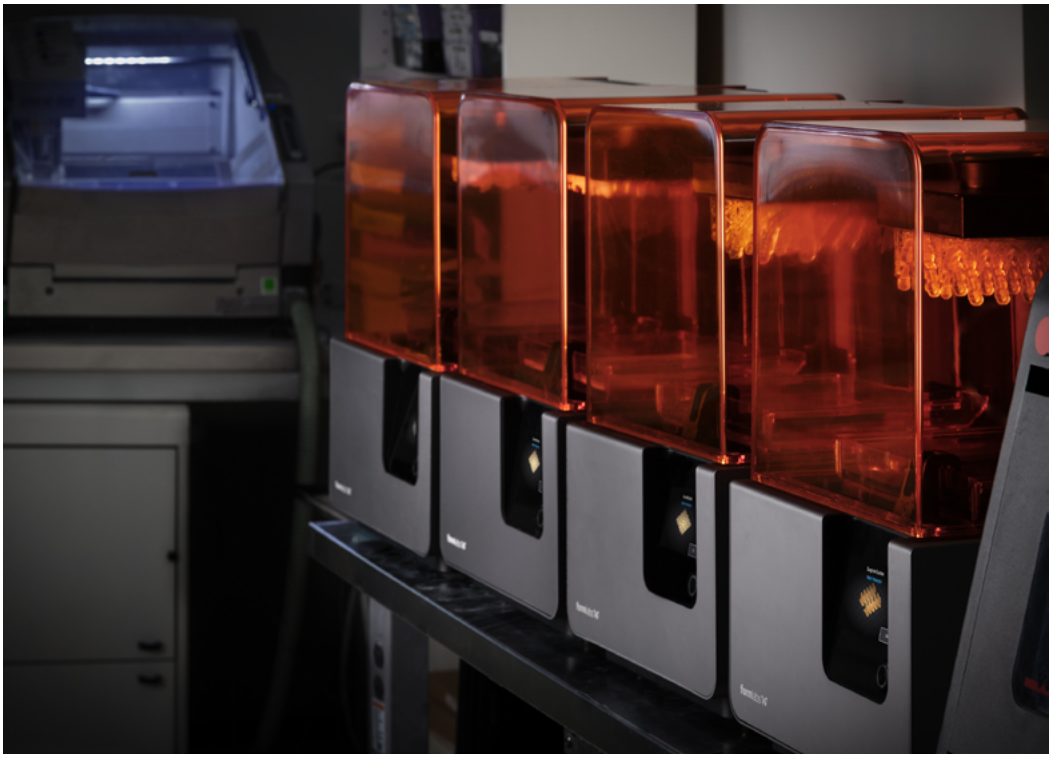
Conclusion

L'adoption croissante de systèmes d'impression 3D de bureau abordables rend possibles des changements majeurs dans le secteur dentaire. La capacité que présentent de telles imprimantes à imprimer de façon fiable des modèles dentaires pour vérifier des restaurations de haute précision, constitue une opportunité importante de réduire les coûts et les délais.

Les résultats de la présente étude démontrent qu'il est possible de fabriquer des modèles dentaires avec dies amovibles, sur l'imprimante Form 2 de Formlabs et avec la résine Dental Model. Les impressions à 50 et 25 microns d'épaisseur de couches sur un échantillon représentatif d'imprimantes présentent une exactitude cliniquement satisfaisante, tant de ligne marginale et de surface de die, que globale.

La comparaison restreinte à deux imprimantes 3D grand format a montré que les performances de la Form 2 ne se distinguent pas de celles de ces systèmes couramment utilisés par les laboratoires dentaires. Pour élargir les conclusions, il serait nécessaire d'élargir la comparaison à un nombre plus important d'impressions et un échantillon représentatif de systèmes d'impression 3D industriels et de bureau.

La capacité à produire en interne des modèles dentaires de haute précision et aux normes cliniques requises, constitue une opportunité extrêmement importante pour tous les professionnels du secteur dentaire, en résolvant la plupart des problèmes qui se posent aux méthodes classiques et en abolissant les barrières à l'adoption des méthodes numériques de fabrication.



Références

1. Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen C-J, Hanssen S, Naert I, Vandenberghe

B. Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes. Clin. Oral Impl. Res. 00, 2015, 1–8.

2. Boeddinghaus M, Breloer ES, Rehmann P, Wöstmann B. Accuracy of single-tooth restorations based on intraoral digital and conventional impressions in patients. Clin Oral Investig. 2015 Feb 20.

3. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. J Dent. 2010;38:553-9.

4. Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. J Prosthet Dent. 2014;112:555-60.

5. Ting-Shu S, Jian S. Intraoral Digital Impression Technique: A Review. J Prosthodont. 2015;24:313-21.

6. Christensen GJ. Marginal fit of gold inlay castings. J Prosthet Dent. 1966 Mar-Apr;16(2):297-305.

7. Rappold AP, Ripps AH, Ireland EJ. Explorer sharpness as related to margin evaluations. Oper Dent. 1992 Jan-Feb;17(1):2-6.

8. Sharkey S, Kelly A, Houston F, O'Sullivan M, Quinn F, O'Connell B. A radiographic analysis of implant component misfit. Int J Oral Maxillofac Implants. 2011 Jul-Aug;26(4):807-15.

9. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. J Prosthodont. 2016 Aug 2.

10. Donovan TE, Chee WW. A review of contemporary impression materials and techniques. Dent Clin North Am. 2004;48:445-70.

11. Thongthammachat S, Moore BK, Barco MT 2nd, Hovijitra S, Brown DT, Andres CJ. Dimensional accuracy of dental casts: influence of tray material, impression material, and time. J Prosthodont. 2002;11:98-108.

12. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: a systematic review. J Prosthet Dent. 2008;100:285-91.

13. Assif D, Fenton A, Zarb G, Schmitt A. Comparative accuracy of implant impression procedures. Int J Periodontics Restorative Dent 1992;12:112-21.

14. Bártolo, Paulo. Stereolithography materials, processes and applications. New York: Springer, 2011. Print.

formlabs