

Guides stéréolithographiques : précision, analyse de la littérature, indication, optimisation et méthodologie

Stereolithographic guides, accuracy - literature analysis, Indication, optimization and methodology

Guillaume DROUHET

Attaché d'enseignement du DU d'Implantologie clinique chirurgicale et prothétique et du DU de reconstruction pré-implantaire, Paris VII, hôpital Rothschild-Garancière
Cofondateur de la formation PACT Implant
Exercice privé Paris

Accepté pour publication :
28 août 2017

L'auteur déclare n'avoir aucun conflit d'intérêts concernant cet article

RÉSUMÉ

Depuis plus de 20 ans l'évolution des logiciels d'imagerie a permis d'optimiser les guides stéréolithographiques. Malgré une amélioration évidente du positionnement des implants permettant de favoriser la pérennité des restaurations implanto-prothétiques, un certain degré d'imprécision persiste : à partir d'une analyse de la littérature scientifique, la précision de ces guides a été étudiée et montre que l'essentiel des erreurs provient des étapes de préparation de ce type de guide. Une méthodologie et un protocole décrivant les différentes étapes de la préparation à la conception jusqu'à l'intervention proprement dite sont ainsi proposés afin de réduire ces imprécisions.

MOTS CLÉS

Implantologie dentaire, planification, guides stéréolithographiques, précision

ABSTRACT

For more than 20 years the evolution of imaging software has made it possible to optimize the stereolithographic guides. Despite an obvious improvement in the positioning of the implants in order to promote the durability of implant-prosthetic rehabilitation, a certain degree of imprecision persists : on the basis of an analysis of the literature, the precision of these guides has been studied. Errors comes from the steps of preparing this type of guide. A methodology and a protocol describing the various stages from preparation to conception to the actual intervention are proposed in order to reduce these inaccuracies.

KEY WORDS

Accuracy, computer, guided surgery, dental implant, planning

Introduction

Le traitement implanto-prothétique est soumis au plan de traitement prothétique, finalité de la restauration bucco-dentaire envisagée. Si les principes fondamentaux de l'implantologie moderne sont bien connus, il reste que la pérennité de ces traitements est liée à la parfaite adéquation entre le positionnement des implants et la prothèse implanto-portée réalisée.

Depuis environ une vingtaine d'années, les guides issus d'une planification informatique se sont développés, améliorant la précision chirurgicale lors de la pose d'implants. Le but de cet article est d'étudier la précision de ces guides numériques par une analyse de la littérature scientifique récente et de fournir une méthodologie permettant d'optimiser leur conception.

Types de guides stéréolithographiques

Les industriels sont parvenus à mettre au point trois catégories de guides : les guides à appui osseux, les guides à appui dentaire et les guides à appui muqueux. Pour chacun d'eux, le praticien a la possibilité de réaliser l'intervention chirurgicale jusqu'à la pose de l'implant ou, simplement, les forages initiaux. On parle de guides *full* ou *safe*, selon les marques, et de guides pilotes.

Leurs indications varient selon le type d'édentement. Ainsi, lors d'un édentement complet, le guide à appui osseux ou muqueux est indiqué et, lors d'un édentement partiel, c'est le guide à appui dentaire qui s'impose.

Principes de réalisation

La fabrication des guides numériques est permise par la planification implantaire à l'aide de logiciels d'imagerie avec les fichiers DICoM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) obtenus lors de l'acquisition par scanner (MSCT, *Multislice Computed Tomography*) ou *cone beam* (CBCT, *Cone Beam Computed Tomography*, *tomographie volumique à faisceau conique*). Les évolutions de l'imagerie médicale ont permis de pouvoir prévoir l'acte chirurgical avec de plus en plus de précision et de sécurité, le CBCT étant actuellement considéré comme aussi précis que le scanner (Poeschl et al., 2013). Parallèlement, les logiciels d'imagerie ont été améliorés, permettant de réaliser une simulation très précise. Ainsi, la chirurgie guidée qui en découle optimise le forage et le

positionnement implantaire, favorisant la stabilité primaire dans les cas de mise en charge immédiate.

Dès lors que le plan de traitement prothétique est posé, la planification implantaire est possible avec ces logiciels d'imagerie, le problème étant de superposer le montage directeur prothétique avec les fichiers DICoM issus de l'acquisition par CBCT ou MSCT.

Deux possibilités se présentent : soit le procédé de « double scan », soit la superposition du modèle avec et sans *wax-up* en obtenant des fichiers .stl à l'aide d'une caméra optique.

Le module de superposition du logiciel d'imagerie permet le « *matching* » des fichiers, puis la planification sera réalisée en fonction du projet prothétique envisagé, étape qui sera suivie de la commande du guide chirurgical.

Précision des guides chirurgicaux

Dans cet article, seul les guides fixes, ou « statiques », seront étudiés. En effet, les guides dits dynamiques ou de navigation chirurgicale, moins utilisés, semblent moins précis à l'heure actuelle (Jung et al., 2009).

Pour étudier la précision des guides chirurgicaux, plusieurs paramètres sont considérés : la déviation du point d'impact (a), la déviation apicale (b) et la déviation de l'angle d'insertion de l'implant (α) (fig. 1).

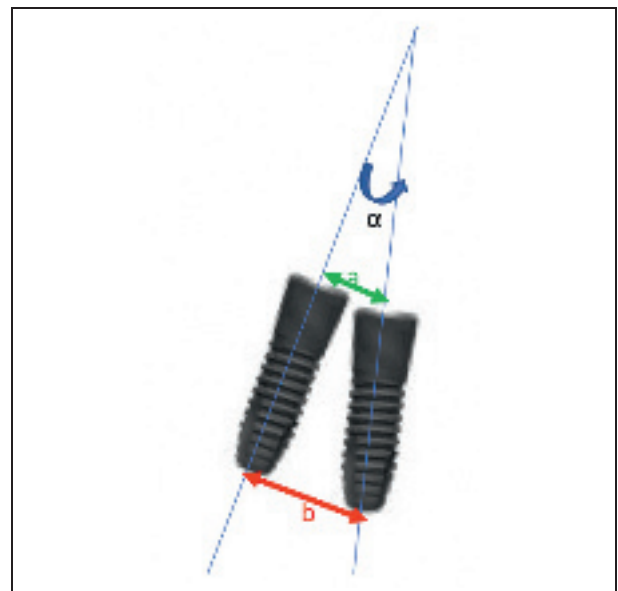


Fig. 1. Schéma des paramètres de déviation.

Fig. 1. Deviation settings.

De nombreuses études considèrent que la déviation moyenne du point d'impact est de 1,12 mm, la déviation apicale est de 1,39 mm et l'angle de déviation d'environ 3,89° (d'Haese *et al.*, 2012; Tahmaseb *et al.*, 2014; Vercruyssen *et al.*, 2014; Raico Gallardo *et al.*, 2017). Pour toutes ces études, les guides utilisent des canons de forage métalliques inclus dans leur structure, le foret étant guidé par un manchon qui est inclus ou indépendant (**fig. 2 à 4**).

Lee *et al.* ont étudié un guide stéréolithographique comportant des canons rigides non métalliques, en utilisant des forets modifiés permettant un engagement guidé (Lee *et al.*, 2016) : la précision mesurée sur chaque paramètre de déviation était améliorée, avec une variation plus importante de la position en profondeur de l'implant liée à l'imprécision du marquage. Cependant, les études montrent que la déviation de l'angle d'insertion est moindre quand le canon de forage est métallique avec une hauteur d'au moins 5 mm (Koop *et al.*, 2013). Dans leur étude, ces derniers auteurs considèrent que la hauteur du canon de forage réduit la déviation apicale et coronaire de l'implant. De même, ils précisent que la qualité de l'os et sa quantité jouent sur la possible déviation de l'implant, observant que les variations sont plus faibles à

la mandibule qu'au maxillaire en s'appuyant sur l'étude de Vasak (Vasak *et al.*, 2011). Ces canons de forage métalliques sont aussi une contrainte à l'insertion et limitent l'utilisation d'un guide dans les cas d'ouverture buccale réduite, certains systèmes proposant alors une insertion latérale.

Le type de guide impacte leur précision. Raico Gallardo *et al.* précisent que, pour chaque paramètre, le guide à appui muqueux est plus précis que l'appui osseux; de même, l'appui dentaire est plus précis que l'appui osseux; en revanche, il n'y a pas de différence significative entre l'appui dentaire et l'appui muqueux (Raico Gallardo *et al.*, 2017). De plus, ces auteurs considèrent que l'épaisseur de la muqueuse influe sur la précision et ils indiquent que des vis de fixation du guide sont indispensables. De même, le nombre de dents sans mobilité interfère sur la préci-



Fig. 2. Canons métalliques inclus dans la structure du guide.

Fig. 2. Metal guide sleeves included in the guide structure.



Fig. 3. Manchon d'adaptation amovible ou cuillère pour guidage des forets.

Fig. 3. Removable adapter sleeve or spoon for guiding drills.



Fig. 4. Foret muni de manchon.

Fig. 4. Drill with sleeve.

sion du guide à appui dentaire, un minimum de deux dents sans mobilité étant indispensable. La précision des guides *safe* ou *full* est plus grande que celle des guides de forage seul. En effet, selon que l'on intervient au maxillaire ou à la mandibule, la qualité osseuse influe sur la pose de l'implant, ce qui est confirmé par une étude (Cristache et Gurbanescu, 2017).

Cristache et Gurbanescu ont travaillé sur un guide chirurgical similaire à celui de l'équipe de Lee (Lee *et al.*, 2016) : les canons de forage sont inclus dans le même matériau, le design des forets et des guides étant conçu pour guider l'insertion (Cristache et Gurbanescu, 2017). Ils ont montré que les variations obtenues sont inférieures à celles trouvées lors des études précédentes. L'analyse de la précision a été réalisée à l'aide d'une empreinte optique post-chirurgie, les fichiers .stl obtenus étant alors superposés au fichier DICoM de la planification : les auteurs ont précisé une déviation du point d'impact de 0,79 mm en moyenne, une déviation apicale de 1,17 mm en moyenne et une déviation de l'angle d'insertion de 2,34° en moyenne ; de même, la précision en profondeur est de 0,5 mm en moyenne, sachant que Lee *et al.* trouvaient une variation de 1,24 mm en moyenne (Lee *et al.*, 2016).

La plupart des études s'accordent à dire que l'imprécision des guides est liée aux erreurs accumulées lors des étapes préprothétique et pré-implantaire. Van de Wiele *et al.* montrent que la chirurgie guidée à l'aide de guide à appui muqueux n'est pas influencée par l'expérience du chirurgien si les étapes de la procédure de réalisation du guide ont été effectuées par un praticien expérimenté (Van de Wiele *et al.*, 2015). D'Haese *et al.* insistent sur le mauvais positionnement du guide réplique du projet prothétique lors de l'acquisition *cone beam* ou tomographique et de la nécessité d'une parfaite application de cette réplique sur la muqueuse (D'Haese *et al.*, 2012). L'utilisation d'une clé de positionnement en silicone *putty* favorisant l'intime adaptation de la réplique sur la muqueuse (Vercruyssen *et al.*, 2015 ou 2016), la présence de zones noires sur les images coronales du CBCT entre le guide réplique et la muqueuse correspond à une interposition d'air pouvant signifier une mauvaise application de la réplique (fig. 5).

Il est inutile de préciser que, dans les cas d'édentement complet, le projet prothétique doit être issu d'une étude parfaite avec empreintes primaire et secondaire et transfert sur articulateur afin d'obtenir un projet en adéquation avec les règles de la prothèse adjointe complète. Un duplicata du montage sert alors

de maquette idéale pour la méthode du double scan. Ce duplicata est pourvu d'au minimum 8 ou 9 microsphères de gutta percha, d'environ 1 mm de diamètre, réparties selon différents plans (Vercruyssen *et al.*, 2014, 2015 ou 2016) (fig. 6).

Dans les cas d'édentement partiel, il semble qu'une empreinte optique d'un modèle en plâtre dur issu d'une parfaite empreinte initiale soit le plus simple et le plus fiable. Un *wax-up* est ensuite réalisé sur ce même modèle, permettant une nouvelle empreinte

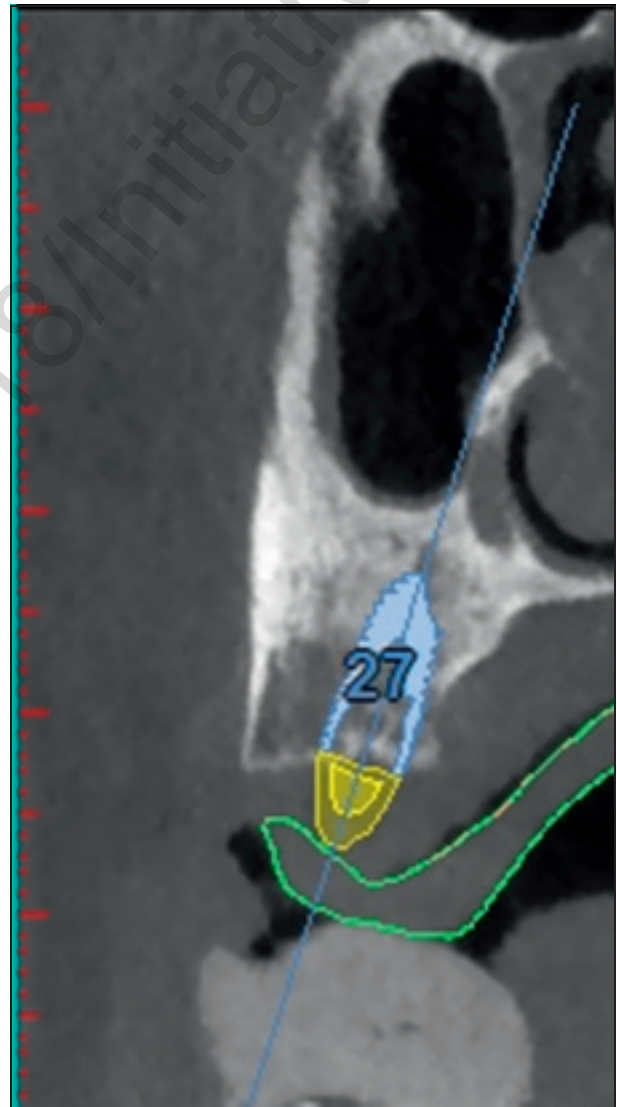


Fig. 5. La zone radio-claire sous le contour du duplicata en vert correspond à de l'air.

Fig. 5. The light radio zone under the green outline of the duplicate corresponds to air

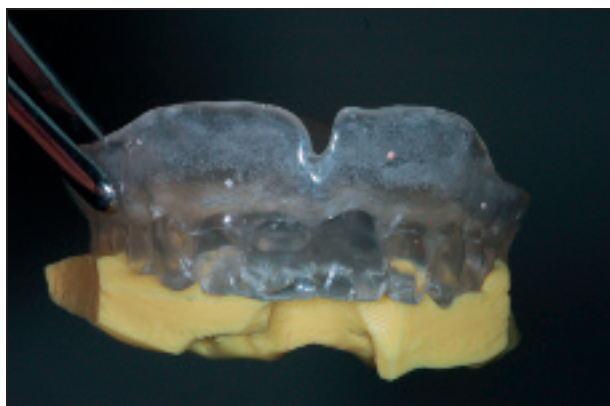
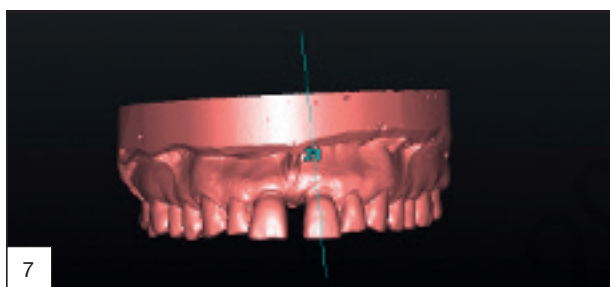
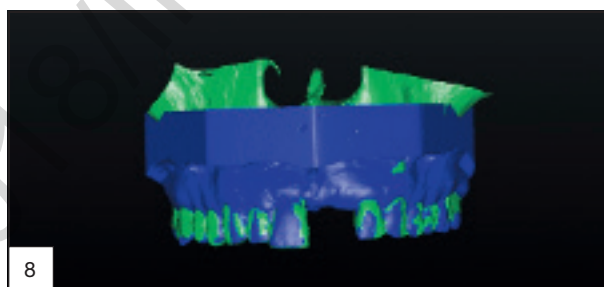


Fig. 6. Duplicata et mordu en silicone *putty*, de petites sphères de gutta-percha sont réparties dans la structure du guide réplique.

Fig. 6. Duplicate and bite silicone putty, small spheres of gutta percha are distributed in the structure of the replica guide.



7



8

Fig. 7 et 8. Fichier .stl du wax-up et fichier .stl superposé sur l'image 3D issue des fichiers DICoM.

Fig. 7 et 8. Wax up STL file and stl file on 3D image from Dicom files.



Fig. 9. Quatre vis de fixation, vissées en occlusion serrée, stabilisent le guide.

Fig. 9. Four fastening screws stabilize the guide, screwed into tight occlusion.

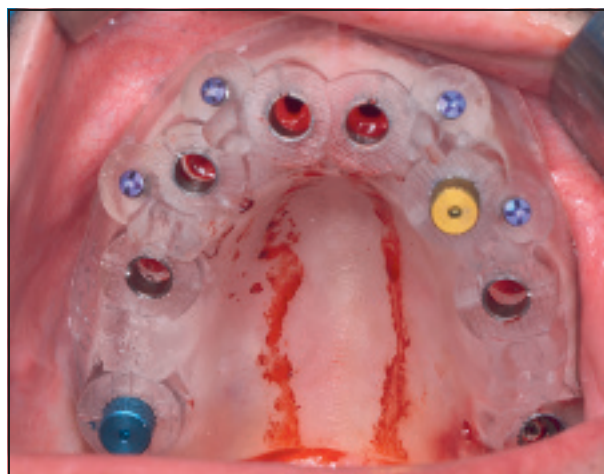


Fig. 10. Deux piliers de stabilisation sont vissés sur des implants posés dont la situation favorise le maintien en parfaite position du guide.

Fig. 10. Two pillars of stabilization are screwed on implants posed whose situation favors the stability in perfect position of the guide.

Indications des différents guides

L'utilisation d'un guide chirurgical numérique apporte une nette amélioration de la précision par rapport à l'usage de guides artisanaux ou de l'absence de guide chirurgical (Vercruyssen, 2014). Cependant, des indications précises se distinguent selon le type d'édentement. En effet, lors d'édentements complets cicatrisés, l'utilisation du guide à appui muqueux est totalement justifiée, permettant aussi de prévoir une mise en charge immédiate (De Bruyn, 2014 ; Vercruyssen *et al.*, 2015) qui, si elle est bien menée, apporte un meilleur confort au patient sans interférer sur la précision.

Le guide à appui dentaire est indiqué pour les édentements partiels. Deux études précisent que la bonne planification dans les cas d'édentement antérieur favorise l'amélioration du « score du rose » (PES, *Pink Esthetic Score*), et ce en raison d'une meilleure précision du positionnement 3D de l'implant avec l'utilisation d'un guide à appui dentaire (Tallarico *et al.*, 2016 ; Fürhauser *et al.*, 2015).

Que le guide soit à appui muqueux ou dentaire, lors de l'examen clinique initial, la qualité du biotype gingival, avec une quantité suffisante de muqueuse attachée, est aussi une condition évidente de la possibilité de réaliser une intervention sans lambeau.

Les guides à appui osseux restent indiqués lorsque des aménagements de volume osseux sont à envisager.

Les industriels mettent à la disposition des praticiens des guides de forage seuls, généralement des guides de premier forage par souci économique (la différence de coût entre le guide *safe* ou *full* et le guide de forage reste à justifier, car la fabrication d'un guide stéréolithographique est la même qu'il soit complet ou non). Après plusieurs utilisations, il semble que ce type de guide soit moins indiqué au maxillaire qu'à la mandibule, car la qualité osseuse – os de type III selon la classification de Lekholm (Lekholm et Zarb, 1985) – demande une grande dextérité pour poursuivre des forages dans le même axe et lors de la pose des implants sans guide, une déviation par rapport à la planification étant à craindre. Cependant, dans le cas d'un édentement mandibulaire, ce type de guide pourra trouver son indication, le premier forage dans un os de type I ou II induisant un guidage naturel plus facile à suivre.

Conclusion

Si une certaine imprécision des guides numériques persiste, il est indéniable que cette technique permet

une optimisation du positionnement des implants en vue de parfaire la réalisation prothétique. La réduction du nombre d'étapes de la préparation à la conception du guide est la clé de l'amélioration de la précision de la chirurgie guidée. La première phase peut être effectuée par une acquisition optique intra-orale permettant la réalisation d'un modèle en plâtre parfait (Reich *et al.*, 2014), mais l'évolution ultime sera de pouvoir réaliser toutes ces étapes virtuellement : modèle virtuel, maquette prothétique virtuelle puis conception du guide en fonction de la planification informatique (Jacobs et Quirynen, 2014 ; Vercruyssen *et al.*, 2015 ou 2016).

Optimisation de la méthodologie de la conception du guide stéréolithographique jusqu'à l'intervention chirurgicale, voire la mise en charge immédiate

Édentement complet

La procédure est la suivante (fig. 11 à 20).

Étapes de préparation

Les premières étapes consistent à faire l'étude prothétique, avec empreintes primaire et secondaire puis montage en articulateur, afin de permettre l'évaluation esthétique et fonctionnelle, pour envisager le choix prothétique. À ce stade, un duplicata du montage ou de la prothèse amovible complète est réalisé, en incorporant environ 8 ou 9 petites sphères de gutta-percha de 1 mm de diamètre, réparties sur différents plans.

Réalisation du CBCT

Le CBCT est réalisé avec le guide de référence, une clé d'occlusion en silicone *putty* permettant un très bon ajustage et un appui sur la muqueuse. Ensuite, un CBCT du guide seul est effectué.

Une image 3D du maxillaire ou de la mandibule est obtenue à l'aide du logiciel d'imagerie, puis l'image 3D issue des fichiers DICoM du guide seul est « matchée ». La planification des implants peut être réalisée, après avoir contrôlé l'absence de zone radio-claire montrant ainsi le parfait ajustage du duplicata sur la muqueuse.

Pour la planification de vis de fixation, il faut prévoir des vissages latéraux afin de pouvoir garder un



Fig. 11. Essai esthétique et fonctionnel du montage en vue d'une prothèse fixe sur implant.

Fig. 11. Aesthetic and functional fitting of teeth mounting for a fixed implant prosthesis.



Fig. 12. Montage du wax-up sur articulateur.

Fig. 12. Wax up teeth mounting performed on articulator.

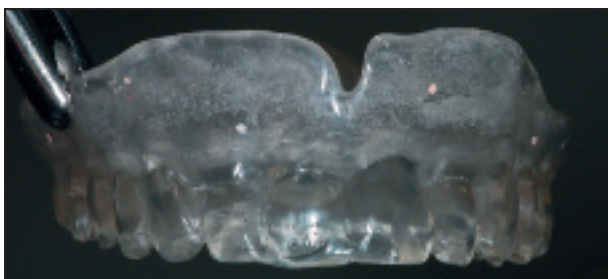


Fig. 13. Duplicata du montage muni de volet vestibulaire, des repères sphériques en gutta-percha de 1 mm de diamètre facilitent la superposition des fichiers .stl obtenus sur l'image 3D issue des fichiers DICOM.

Fig. 13. Duplicata of the teeth mounting with vestibular shutter, the spherical markers in gutta-percha, diameter of 1mm, facilitate the superposition of the stl files obtained on the 3D image resulting from the files Dicom.

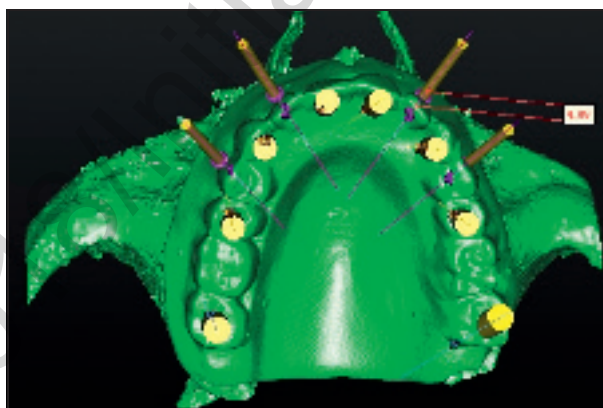


Fig. 14. Planification informatique en fonction du montage prothétique.

Fig. 14. Computer planning according to the prosthetic assembly.



Fig. 15. Guide stéréolithographique muni de canons métalliques, ici un guide safe de chez SimPlant®.

Fig. 15. Stereolithographic guide equipped with metal guide sleeves, here a guide «SAFE» from SimPlant®.



Fig. 16. 8 Implants posés, dont 7 munis des piliers transgingivaux, ici avec leur coiffe de protection.

Fig. 16. 8 Posed implants, 7 of which are equipped with transgingival abutments, here with their protective caps.

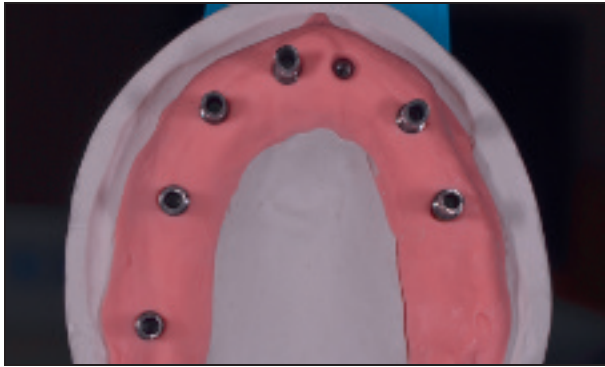


Fig. 17. En amont, le prothésiste réalise un modèle avec le guide stéréolithographique : des piliers temporaires en titane sont placés en vue de la réalisation d'un bridge provisoire.

Fig. 17. Upstream the prosthetist makes a model with the stereolithographic guide: Temp Titanium abutments are placed for the realization of a temporary bridge.



Fig. 18. En fin d'intervention, les piliers temporaires en titane sont placés, seul un pilier est solidarisé au bridge temporaire prévu, servant de référence de positionnement.

Fig. 18. At the end of the intervention temp Titanium abutment are placed, only one temp abutment is secured to the temporary bridge provided, serving as a positioning reference.



Fig. 19. Le bridge provisoire armé sera ajusté et solidarisé aux piliers temporaires directement en bouche, le pilier de référence est vissé ici en position de 21.

Fig. 19. The temporary reinforced bridge will be adjusted and secured to the temporary abutment directly in the mouth, the reference abutment screwed here in position 21.



Fig. 20. Bridge provisoire transvissé, vissage à 25 Ncm après équilibration.

Fig. 20. Temporary bridge screwed, screwing at 25Ncm after equilibration.

contrôle de positionnement du guide en occlusion serrée, lors de sa mise en place. Trois ou 4 vis de fixation au minimum bien réparties sont indispensables.

Commande du guide stéréolithographique

La conception d'un guide à appui muqueux est fondée sur la référence de l'intrados du duplicata, qui reproduit le volume exact de la muqueuse. Cela explique l'importance de son adaptation et de son application lors de l'acquisition CBCT. Le guide est livré avec une fiche d'information sur les séquences de forage, selon les sites et les canons de forage correspondants.

Intervention

Le guide est mis en place en occlusion serrée, il est fixé à l'aide des vis d'ostéosynthèse ou clavettes. Suivent la séquence de forage de tous les implants, la pose des implants selon un schéma de répartition en quinconce, avec utilisation de piliers de stabilisation vissés sur 2 ou 3 implants répartis stratégiquement sur l'arcade afin d'éviter toute possibilité de déplacement ou d'enfoncement du guide. Dès que tous les implants sont posés, si le torque d'insertion est bien respecté, soit de 25 à 40 Ncm, une mise en charge est envisageable. Après dépose du guide, des piliers transgingivaux sont positionnés et vissés, puis soit la prothèse provisoire est réalisée en amont par le laboratoire de prothèses, soit une empreinte au plâtre est faite à l'aide du duplicata, soigneusement évidé. Le rapport intermaxillaire est contrôlé, le duplicata, réplique parfaite du montage, pouvant servir de repère. Avec tous ces éléments, le laboratoire de prothèses réalise une prothèse transitoire transvissée renforcée ou non, qui est posée 24 à 48 heures plus tard. Un contrôle immédiat de l'occlusion est réalisé puis deux autres ont lieu au bout de 8 jours puis de 3 semaines.

Édentement partiel

Les étapes préprothétiques sont réalisées, avec *wax-up*, de même qu'étude esthétique et fonctionnelle. Les empreintes doivent être parfaites et les modèles coulés en plâtre dur. Une empreinte optique du modèle initial est enregistrée puis, sur ce même modèle, le *wax-up* est conçu puis scanné. Le laboratoire fournit alors des fichiers .stl. Cette étape peut être simplifiée en effectuant une empreinte optique directement en bouche, ce qui favorise la qualité de la précision. Parallèlement, le CBCT du patient est effectué et les données DICoM sont analysées à l'aide d'un logiciel d'imagerie. Les fichiers .stl et l'image 3D issue des fichiers DICoM sont superposés afin de planifier le positionnement idéal des implants selon le schéma prothétique envisagé. Le guide sera conçu à l'aide des fichiers de planification et du modèle initial : le fichier de référence pour la réalisation du guide est le fichier .stl du modèle, d'où l'importance de soigner les empreintes et la coulée des modèles. Selon que l'édentement est encastré ou non, des vis de fixation sont prévues.

Pour l'intervention, le guide est positionné, un contrôle visuel de son adaptation est aisé, puis il suffit de suivre les instructions de forage données par le fabricant. De même, si les conditions le permettent, une temporisation immédiate implanto-portée peut être envisagée, un pilier prothétique anatomique peut être prévu et réalisé par CFAO à partir du projet et de la planification effectuée. Une indexation visuelle présente sur le guide permet de contrôler le positionnement en rotation de l'implant.

Les protocoles pour l'édentement complet et l'édentement partiel sont schématisés sur les **figures 21 et 22**. □

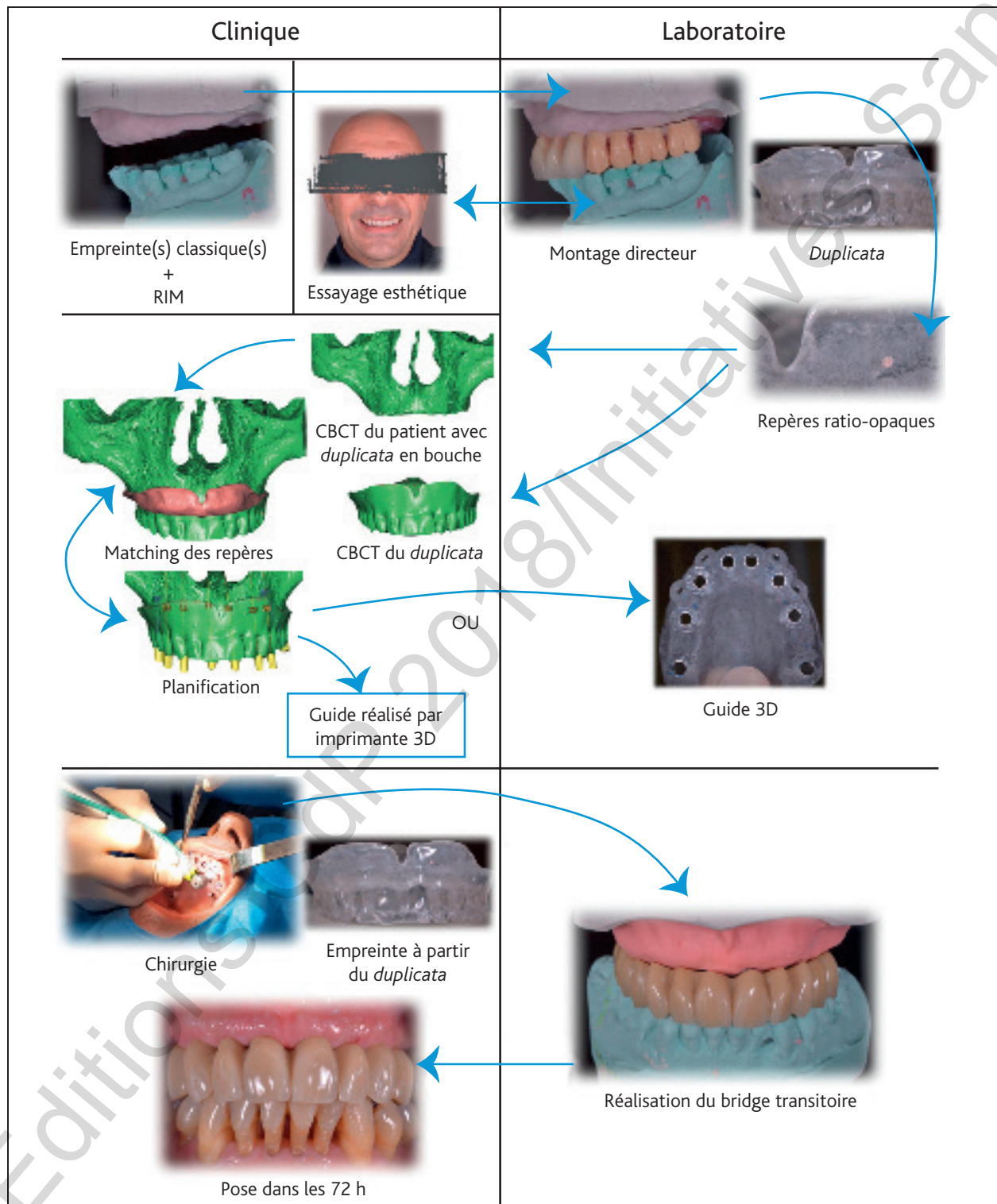


Fig. 21. Protocoles optimisés pour l'édentement complet (cas clinique réalisé en collaboration avec Thibault Drouhet).

Fig. 21. Optimized protocol for complete edentulism.

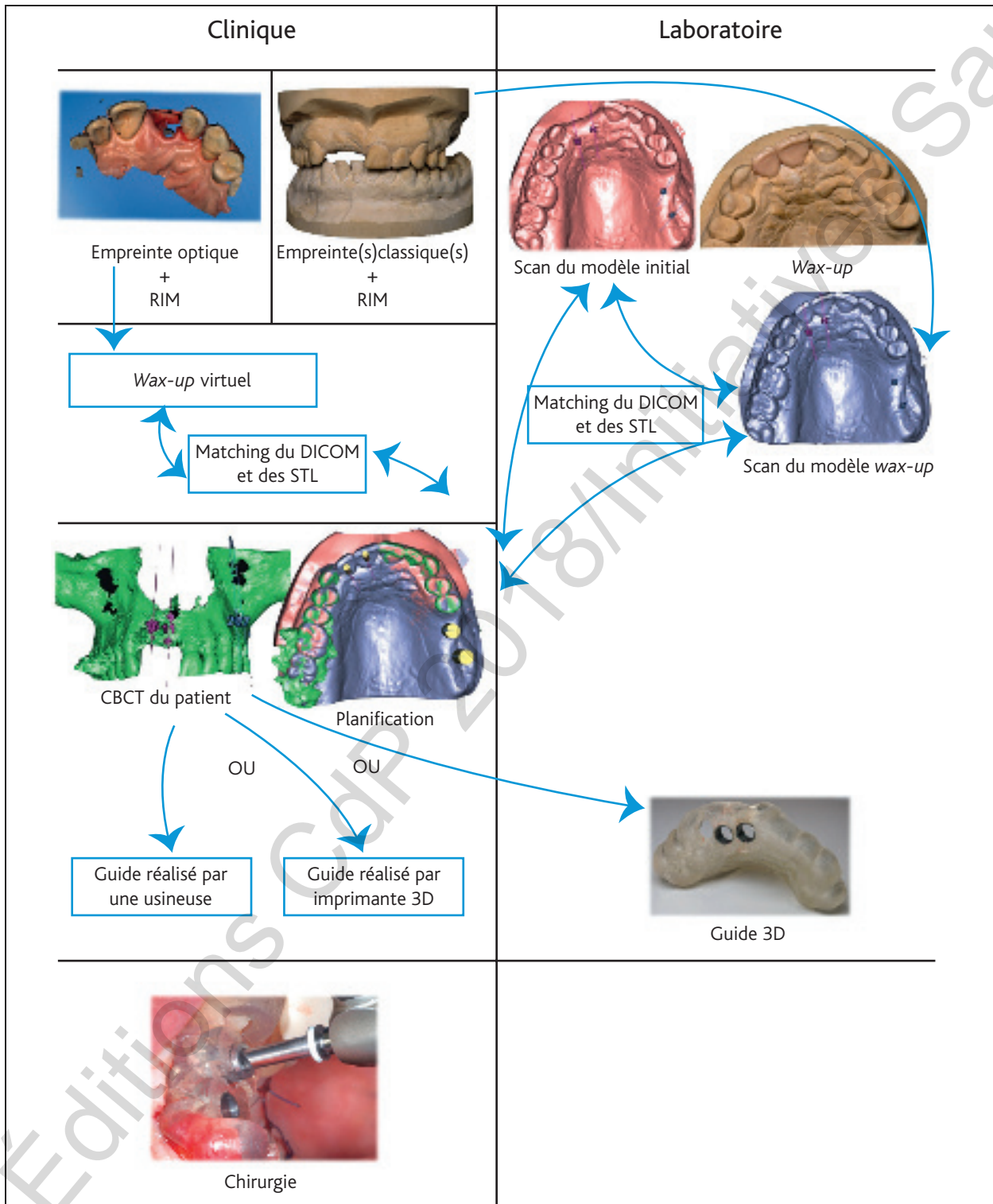


Fig. 22. Protocoles optimisés pour l'édentement partiel (cas clinique réalisé en collaboration avec Thibault Drouhet).

Fig. 22. Optimized protocol for partially edentulism.

BIBLIOGRAPHIE

- **Cristache CM, Gurbanescu S.** Accuracy evaluation of a stereolithographic surgical template for dental implant insertion using 3D superimposition protocol. *Int J Dent* 2017;2017:ID 4292081.
- **De Bruyn H, Raes S, Ostman PO, Cosyn J.** Immediate loading in partially and completely edentulous jaws: a review of the literature with clinical guidelines. *Periodontol* 2000 2014;66: 153-187.
- **D'Haese J, Van De Velde T, Elaut L, De Bruyn H.** A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14:293-303.
- **Fürhauser R, Mailath-Pokorny G, Haas R, Busenlechner D, Watzek G, Pommer B.** Esthetics of flapless single-tooth implants in the anterior maxilla using guided surgery: association of three-dimensional accuracy and pink esthetic score. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(suppl. 2):e427-e433.
- **Jacobs R, Quirynen M.** Dental cone beam CT: justification for use in planning oral implant placement. *Periodontol* 2000 2014;66:203-213.
- **Jung RE, Schneider D, Ganeles J, Wismeijer D, Zwahlen M, Hämmerle CH et al.** Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(suppl.):92-109.
- **Koop R, Vercruyssen M, Vermeulen K, Quirynen M.** Tolerance within the sleeve inserts of different surgical guides for guided implant surgery. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:630-634.
- **Lee DH, An SY, Hong MH, Jeon KB, Lee KB.** Accuracy of a direct drill-guiding system with minimal tolerance of surgical instruments used for implant surgery: a prospective clinical study. *J Adv Prosthodont* 2016;8:207-213.
- **Lekholm U, Zarb GA.** Patients selections and preparation. In: Brånemark PI, Albrektsson T, Zarb GA (eds). *Tissue integrated prosthesis: osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence, 1985.
- **Poeschl PW, Schmidt N, Guevara-Rojas G, Seeman R, Ewers R, Zipko HT et al.** Comparison of cone-beam and conventional multislice computed tomography for image-guide dental implant planning. *Clin Oral Investig* 2013;17:317-324.
- **Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio IRT, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L.** Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:602-612.
- **Reich S, Kern T, Ritter L.** Options in virtual 3D, optical-impression-based planning of dental implants. *Int J Comput Dent* 2014;17:101-113.
- **Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W.** Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29(suppl.): 25-42.
- **Tallarico M, Meloni SM, Canullo L, Xhanari E, Polizzi G.** Guided surgery for single-implant placement: a critical review. *J Oral Sci Rehabil* 2016;2:8-14.
- **Vandenberghé B, Jacobs R, Bosmans H.** Modern dental imaging: a review of the current technology and clinical applications in dental practice. *Eur J Radiol* 2010;20:2637-2655.
- **Van de Wiele G, Teughels W, Vercruyssen M, Coucke W, Temmerman A, Quirynen M.** The accuracy of guided surgery via mucosa-supported stereolithographic surgical templates in the hands of surgeons with little experience. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:1489-1494.
- **Vasak C, Watzak G, Gahleitner A, Strbac G, Schemper M, Zechner W.** Computed tomography-based evaluation of template (Nobel-Guide)-guided implant positions: a prospective radiological study. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1157-1163.
- **Vercruyssen M, Cox C, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Quirynen M.** A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone or mucosa supported) with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *J Clin Periodontol* 2014;41: 717-723.
- **Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M.** Computer supported implant planning and guided surgery: a narrative review. *Clin Oral Implants Res* 2015;26(suppl. 11):69-76
- **Vercruyssen M, Cox C, Naert I, Jacobs R, Teughels W, Quirynen M.** Accuracy and patient-centered outcome variables in guided implant surgery: a RCT comparing immediate with delayed loading. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:427-432.