

UNIVERSITE DE STRASBOURG
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2023

N°37

THÈSE

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 22 juin 2023

par

GILLON Flore

née le 19/04/1996 à SAINT-GERMAIN-EN-LAYE

**AVANTAGES, INCONVENIENTS ET COMPARAISON
DES SET-UPS CONVENTIONNELS ET NUMERIQUES**

Président : Professeur MANIERE Marie-Cécile
Assesseurs : Docteur BOLENDER Yves
Docteur WAGNER Delphine
Docteur MONSONEGO Shyrel
Membre invité : Docteur OHAYON Jérémy

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur Florent MEYER

Doyens honoraires : Professeur Maurice LEIZE

Professeur Youssef HAIKEL

Professeur Corinne TADDEI-GROSS

Professeurs émérites : Professeur Henri TENENBAUM

Professeur Anne-Marie MUSSET

Responsable des Services Administratifs : Mme Marie-Renée MASSON

Professeurs des Universités

Vincent BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
Agnès BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
François CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
Jean-Luc DAVIDEAU	Parodontologie
Youssef HAÏKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier HUCK	Parodontologie
Sophie JUNG	Sciences Biologiques
Marie-Cécile MANIERE	Odontologie Pédiatrique
Florent MEYER	Sciences Biologiques
Maryline MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Damien OFFNER	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Corinne TADDEI-GROSS	Prothèses
Béatrice WALTER	Prothèses
Matthieu SCHMITTBUHL	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie

Délégation (Juin 2024)

Maîtres de Conférences

Youri ARNTZ	Biophysique moléculaire
Sophie BAHY-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Yves BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
Fabien BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation

Disponibilité (Nov. 2023)

Claire EHLINGER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier ETIENNE	Prothèses
Gabriel FERNANDEZ DE GRADO	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Florence FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine-Isabelle GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques - Biophysique - Radiologie
Nadia LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique

Disponibilité (Déc. 2023)

Davide MANCINO	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine PETIT	Parodontologie
François REITZER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Martine SOELL	Parodontologie
Marion STRUB	Odontologie Pédiatrique
Xavier VAN BELLINGHEN	Prothèses
Delphine WAGNER	Orthopédie Dento-Faciale
Etienne WALTMANN	Prothèses

À Madame le Professeur Marie-Cécile MANIERE

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Unité fonctionnelle d'Odontologie Pédiatrique

Merci de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse.

Veillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

À Monsieur le Docteur Yves BOLENDER

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Merci pour votre investissement dans notre formation, votre rigueur au quotidien et l'excellence de votre enseignement.

Veillez trouver ici l'expression de mes chaleureux remerciements et le témoignage de mon admiration la plus sincère.

À Madame le Docteur Delphine WAGNER,

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci de m'avoir fait l'honneur de faire partie de ce jury de thèse. Merci pour votre
bienveillance et votre investissement passionné dans notre formation.
Veuillez trouver ici l'expression de mon plus profond respect et de ma sincère
gratitude.*

À Madame le Docteur Shyrel MONSONEGO,

Chef de Clinique des Universités – Assistant des Hôpitaux

Unité fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

Merci de m'avoir fait l'honneur de faire partie de ce jury de thèse. Merci pour vos conseils avisés et votre soutien qui m'ont été extrêmement précieux. Merci pour cette jolie amitié qui s'est créée et les moments passés durant l'internat.

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

À Monsieur le Docteur Jérémie OHAYON

Ancien Chef de Clinique des Universités – Assistant des Hôpitaux

Praticien Attaché

Unité fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir d'accepter la direction de cette thèse.
Merci pour votre réactivité, votre grande disponibilité et vos précieux conseils, tant
pour cette thèse que pour le mémoire. Merci pour tout ce que vous m'avez transmis
lors de ma formation clinique.
Veuillez trouver ici l'expression de ma plus grande reconnaissance et de ma
profonde gratitude.*

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2023

N°37

THÈSE

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 22 juin 2023

par

GILLON Flore

née le 19/04/1996 à SAINT-GERMAIN-EN-LAYE

AVANTAGES, INCONVENIENTS ET COMPARAISON DES SET-UPS CONVENTIONNELS ET NUMERIQUES

Président : Professeur MANIERE Marie-Cécile

Assesseurs : Docteur BOLENDER Yves

Docteur WAGNER Delphine

Docteur MONSONEGO Shyrel

Membre invité : Docteur OHAYON Jérémy

Sommaire

INTRODUCTION	7
I. DE L'INTRODUCTION DU NUMERIQUE EN ORTHODONTIE A	
L'APPARITION DU SET-UP NUMERIQUE	9
1. GENERALITES	9
A. <i>Historique</i>	9
B. <i>Les caméras intra-orales : principes de fonctionnement</i>	12
2. LES MODELES D'ETUDE.....	16
A. <i>Moulages traditionnels en plâtre</i>	16
B. <i>Modèles numériques</i>	18
C. <i>Comparaison des mesures réalisées sur modèles en plâtre et modèles numériques</i>	21
3. SYSTÈME CAD/CAM (<i>COMPUTED ASSISTED DESIGN/COMPUTED ASSISTED MANUFACTURING</i>).....	24
II. SET-UP CONVENTIONNEL ET SET-UP NUMERIQUE	25
1. RAPPELS SUR LE SET-UP ET SES INDICATIONS	25
2. LE SET-UP CONVENTIONNEL	29
A. <i>Critères d'élaboration d'un set-up orthodontique</i>	29
B. <i>Techniques de réalisation du set-up en plâtre</i>	34
C. <i>Méthodes simplifiées de réalisation de set-up en plâtre</i>	40
D. <i>Interprétation du set-up en plâtre</i>	42
3. LE SET-UP NUMERIQUE	44
A. <i>Technique de réalisation d'un set-up numérique</i>	44
B. <i>Tooth positioner</i>	50
C. <i>Technique linguale</i>	50
D. <i>Système d'aligneurs</i>	52
E. <i>Appareils multi-attaches individualisés</i>	53
F. <i>Set-up et CBCT (Cone Beam Computed Tomography)</i>	55
III. COMPARAISON DES SET-UPS CONVENTIONNELS ET NUMERIQUES	57
1. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SET-UPS.....	57
2. RESULTAT DES COMPARAISONS DANS LA LITTERATURE	60
3. MISE EN PLACE D'UNE ETUDE VISANT A EVALUER L'APPORT DU SET-UP NUMERIQUE DANS LA PLANIFICATION DU PLAN DE TRAITEMENT	63
CONCLUSIONS	65

ANNEXES	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	78

Table des figures et tableaux

Figure 1 : scanner intra-oral des lèvres et des tissus péri-oraux d'un patient au sourire (13)	10
Figure 2 : le flux numérique (15).....	11
Figure 3 : scanner de table 3Shape® (16)	12
Figure 4 : scanner intra-oral 3Shape® (19).....	12
Figure 5 : acquisition par triangulation (15)	13
Figure 6 : acquisition par projection de franges de lumière (15).....	14
Figure 7 : acquisition par imagerie parallèle confocale (15).....	14
Figure 8 : acquisition par vidéo stéréophotogrammétrique (15)	15
Figure 9 : moulages dentaires en plâtre (23).....	16
Figure 10 : modèles dentaires numériques (source personnelle)	18
Figure 11 : mesure de la Courbe de Spee sur modèle en plâtre (à gauche) (41) et numérique (à droite) (source personnelle)	22
Figure 12 : set-up en plâtre (à gauche) et positionneur (à droite) (49).....	25
Figure 13 : modèle initial avec agénésie de 12 et 22 riziforme (à gauche), set-up avec ouverture de l'espace de 12 et aménagement mésio-distal de 22 (à droite) (source personnelle).....	27
Figure 14 : résultat du Digital Smile Design (56)	28
Figure 15 : tip coronaire en fonction de chaque dent (59).....	30
Figure 16 : torque en fonction de chaque dent maxillaire (à gauche), mandibulaire (à droite) (59).....	30
Figure 17 : valeurs de in/out en fonction de chaque dent maxillaire (à gauche), mandibulaire (à droite) (59)	30
Figure 18 : schéma présentant une Classe I molaire et canine d'Angle (64)	32
Figure 19 : courbe de Wilson (65)	33
Figure 20 : courbe de Spee (66).....	33
Figure 21 : mise en évidence des milieux inter-incisifs initiaux (en bleu) et finaux (en rouge) (58).....	34
Figure 22 : marquage de l'inclinaison mésio-distale des premières molaires maxillaires et mandibulaires (58).....	35
Figure 23 : enregistrement de la forme d'arcade (à gauche), vérification de la symétrie d'arcade (à droite) (58)	35
Figure 24 : clé en silicone matérialisant la position initiale de l'incisive mandibulaire (à gauche), clé en silicone découpée sagittalement, support du papier quadrillé (à droite) (58)	36
Figure 25 : enregistrement de la dimension verticale postérieure (58)	36

Figure 26 : identification de chaque dent par leur numéro (58).....	37
Figure 27 : tracé de la ligne limitant la crête alvéolaire (58).....	37
Figure 28 : découpe de chaque dent à la scie circulaire (58).....	38
Figure 29 : dents individualisées comprenant des rétentions à leur base (58)	38
Figure 30 : création d'une rigole au centre de la crête alvéolaire (à gauche), mise en place de cire au sein de cette rigole (à droite) (58)	38
Figure 31 : positionnement des incisives mandibulaires et des dents restantes secteur 3 (58)	39
Figure 32 : dents maxillaires et mandibulaires montées sur cire (58)	39
Figure 33 : contrôle de la dimension verticale (58).....	39
Figure 34 : set-up en plâtre terminé (58)	39
Figure 35 : séparation des dents par des films radiographiques (71)	40
Figure 36 : "pins" insérés dans le plâtre en cours de prise en regard de chaque dent (71)	41
Figure 37 : couche de cire appliquée par-dessus la couche de plâtre initiale (71)....	41
Figure 38 : moulages après retrait du porte-empreinte et des séparateurs (71).....	41
Figure 39 : formulaire reprenant les 10 items abordés (58)	43
Figure 40 : segmentation de chaque dent sur OrthoAnalyzer® (source personnelle)	45
Figure 41 : visualisation du grand axe de la dent et du centre de rotation à modifier (source personnelle).....	45
Figure 42 : formes d'arcades individualisées sur OrthoAnalyzer® (source personnelle)	46
Figure 43 : interface du logiciel OrthoAnalyzer® permettant de réaliser un set-up (source personnelle).....	46
Figure 44 : tableau récapitulatif des mouvements (source personnelle)	48
Figure 45 : sélection des 3 points (à gauche), superposition du modèle initial et d'un set-up (à droite) (source personnelle)	49
Figure 46 : Tooth Positioner (83).....	50
Figure 47 : attaches linguales, système Incognito® (87,88).....	51
Figure 48 : interface du logiciel TMP Incognito® permettant de réaliser la demande de fabrication des attaches linguales (source personnelle).....	51
Figure 49 : technique de fabrication des attaches linguales (répliques de brackets sur cire (A et B), brackets coulés en alliage d'or après fonte de la cire (C) (89)	52
Figure 50 : clin-check proposé par Invisalign® (source personnelle).....	53
Figure 51 : système Insigna® - set-up numérique avec placement idéal virtuel de chaque attache (à gauche), collage indirect des brackets individualisés par l'intermédiaire d'une gouttière de transfert (à droite) (95,96).....	54
Figure 52 : système SureSmile® - arc plié robotiquement (94).....	54

Figure 53 : superposition d'un modèle initial numérique et d'un CBCT (iconographie du Dr Jérémie OHAYON)	56
Figure 54 : schéma représentant le périmètre d'arcade (distance pp') (114)	61
Tableau 1 : tableau comparant les avantages des set-ups conventionnels et numériques.....	58
Tableau 2 : tableau comparant les inconvénients des set-ups conventionnels et numériques.....	59

Introduction

Le diagnostic et la planification du plan de traitement en orthodontie impliquent la reconnaissance des caractéristiques d'une malocclusion et des asymétries faciales, la définition de la nature du problème et l'élaboration d'une stratégie thérapeutique basée sur les besoins spécifiques du patient (1).

Pour cela, les plans de traitement sont basés sur les modèles d'étude, les photographies endo- et exo-buccales, la radiographie panoramique, la téléradiographie de profil et les tracés céphalométriques (2).

Les modèles d'étude permettraient à eux seuls (sans l'aide des autres documents cités précédemment), une planification du traitement dans 55% des cas (1).

Les modèles en plâtre sont aujourd'hui considérés comme le Gold Standard. En effet, leur fabrication est une technique de routine dont la production est aisée, peu coûteuse et présentant une facilité d'analyse (mesures, montage en articulateur...) (3,4).

L'introduction du numérique a débuté dans les années 1980 (5) avec l'utilisation du scanner intra-oral permettant l'acquisition d'empreintes numériques et l'obtention de modèles d'études virtuels.

Cela est devenu possible grâce à l'apparition de la numérisation des radiographies, des photographies et plus largement du dossier patient. De ce fait, et au vu des nombreux inconvénients des modèles conventionnels (stockage, risque de casse, dégradations, perte...) (6), les empreintes numériques ont rapidement remplacé les modèles d'étude en plâtre et ont séduit de nombreux orthodontistes qui les utilisent désormais quotidiennement dans leur pratique (3,7).

Ils présentent de nombreux avantages tels que la facilité de stockage et de récupération des données ou encore une communication plus aisée avec le patient ou même entre praticiens (2).

De ces empreintes numériques découle la possibilité de réaliser un set-up, ou simulation de la thérapeutique, numérique. Longtemps élaboré en plâtre, procédé introduit par Harold Kesling en 1945 (8,9), il est désormais possible de le réaliser virtuellement à l'aide d'outils numériques moins chronophages (10).

Cette technique permet de prévisualiser le résultat post-traitement orthodontique en simulant l'option thérapeutique retenue pour un patient donné (11,12).

En plus d'offrir un gain de temps, le set-up numérique offre la possibilité de superposer le résultat final simulé avec les modèles initiaux et ainsi de déduire la quantité précise de mouvement de chaque dent.

Ainsi, le but de ce travail de thèse est d'étudier les avantages et inconvénients des différents types de set-ups (conventionnels et numériques) et de les comparer entre eux.

Nous aborderons, dans un premier temps, l'apparition du numérique en orthodontie. Dans un second temps, nous étudierons les set-ups conventionnels et numériques. Enfin, nous conclurons par la comparaison de ces deux techniques.

I. De l'introduction du numérique en orthodontie à l'apparition du set-up numérique

1. Généralités

A. Historique

A partir des années 1980, l'essor du numérique touche la spécialité orthodontique (5).

Les cabinets s'affranchissent alors, peu à peu, des dossiers papiers et les praticiens optent pour la digitalisation des photos endo- et exo-buccales, la numérisation des radiographies ou encore la réalisation d'empreintes numériques.

L'ensemble de ces documents doit être recueilli avant de débiter un traitement orthodontique et sont des éléments nécessaires à l'élaboration d'un plan de traitement. Ils permettent d'identifier les paramètres s'écartant de la norme, de classer la malocclusion dont souffre le patient et de formuler des objectifs de traitement (2).

Cette digitalisation des informations relatives au patient permet au praticien de poser un diagnostic, de planifier informatiquement le traitement mais aussi de concevoir numériquement les appareillages qui vont être employés.

Nous allons nous intéresser essentiellement aux modèles 3D digitaux des arcades dentaires issus de ces empreintes numériques.

Ils sont utiles pour documenter la situation initiale (obligation médico-légale) mais également pour planifier, quantifier et suivre dans le temps les effets du traitement (13).

L'empreinte numérique marque le début du flux digital.

Initialement, les modèles d'étude du patient étaient obtenus en scannant un moulage en plâtre issu d'une empreinte conventionnelle, le plus souvent à l'alginat. Il est aujourd'hui possible d'enregistrer cette empreinte directement en bouche sans étape intermédiaire (5).

Les empreintes numériques remplacent alors petit à petit les modèles en plâtre et séduisent pour leur précision et leur confort d'utilisation (5,7).

Les dernières innovations dans ce domaine offrent la possibilité de scanner le sourire ainsi que les tissus péri-oraux du patient, permettant notamment une analyse du contexte labial.

Les mouvements dentaires peuvent alors être simulés en évaluant les répercussions sur la courbure de la lèvre inférieure, la largeur inter-commissurale, les corridors buccaux et sur l'architecture labiale (Figure 1) (14).



Figure 1 : scanner intra-oral des lèvres et des tissus péri-oraux d'un patient au sourire (14).

Les empreintes numériques ont également rendu possible le concept CAD/CAM (*Computed Aided Design and Manufacturing*) qui apparaît durant les années 1980 grâce au Professeur François Duret (7,15).

Il présente, en 1983, au cours d'une conférence à Garancière (France) le prototype de ce principe. C'est seulement deux ans plus tard que la première couronne dentaire, sans l'intervention d'un laboratoire extérieur, voit le jour.

Ce système CAD/CAM est de ce fait utilisé en dentisterie depuis une quarantaine d'années notamment pour la réalisation de restaurations en céramique ou résine sans copie physique de la dent à restaurer, adjacente ou antagoniste.

Ces technologies de conception et fabrication assistées par ordinateur offrent aussi des avantages en orthodontie avec :

- la réalisation d'empreintes numériques lors du bilan orthodontique
- l'impression des modèles numériques
- la prévisualisation et la simulation des mouvements dentaires

- la fabrication d'appareillages auxiliaires : arc transpalatin, arc lingual, disjoncteur...
- la fabrication d'aligneurs : par une entreprise (ex : Invisalign®, OrthoCaps®) ou in-office (directement au cabinet)
- la conception de brackets individualisés : en technique vestibulaire (Insigna®) ou linguale (ex : Incognito®, Win®).

Il devient alors possible de s'affranchir de certaines phases de traitement telles que la réalisation de conformateurs en plâtre, la mise en place de séparateurs ou encore l'essayage de bagues, nécessaires à la fabrication d'appareils en méthode conventionnelle (7).

Afin d'avoir une vision plus globale et schématique, le flux numérique peut être résumé comme ci-dessous (Figure 2) (16) :

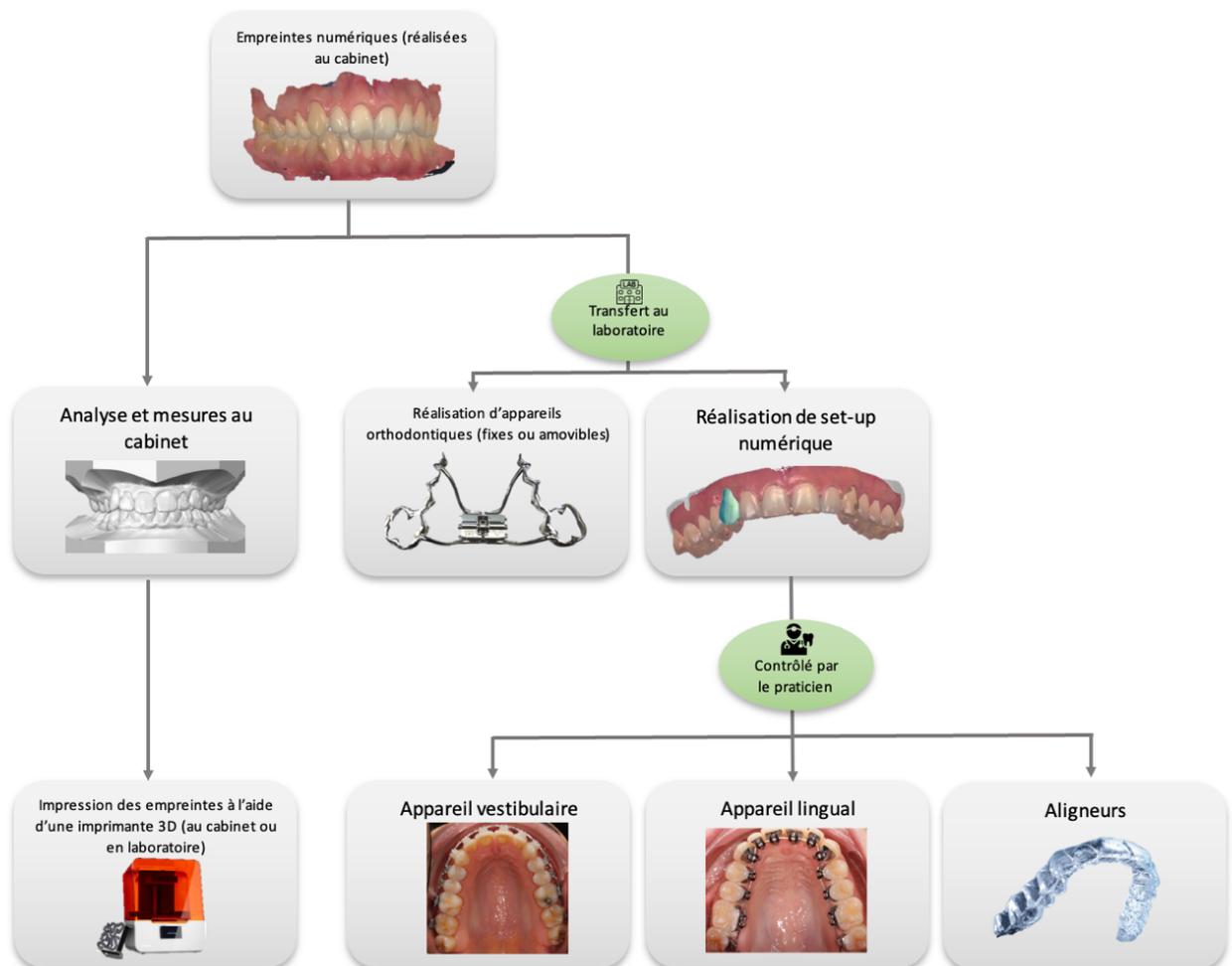


Figure 2 : le flux numérique (16).

L'ensemble de ce flux numérique est rendu possible grâce à l'existence des caméras ou scanners, dont nous allons voir le fonctionnement de manière plus détaillée.

B. Les caméras intra-orales : principes de fonctionnement

Il existe deux moyens d'obtenir une numérisation des arcades dentaires :

- **Scanner de table** (Figure 3) : permet la numérisation des modèles en plâtre ou directement de l'empreinte conventionnelle (souvent utilisé en laboratoire).



Figure 3 : scanner de table 3Shape® (17).

- **Scanner intra-oral** (Figure 4) : il s'agit d'une numérisation directe en bouche. Il en résulte un fichier dit « STL » faisant référence à la stéréolithographie. Ce format de fichier permet de caractériser la surface externe d'un objet et a l'avantage d'être un fichier dit « ouvert », c'est-à-dire lisible et déchiffrable librement par d'autres logiciels que celui qui l'a créé (18,19).



Figure 4 : scanner intra-oral 3Shape® (20).

La prise d'empreinte avec une caméra intra-orale consiste en une numérisation optique sans contact des surfaces dentaires et des tissus mous adjacents par balayage d'un faisceau lumineux.

L'acquisition peut se faire de différentes manières (16,21) :

- **par triangulation** (Figure 5) : utilisation d'un faisceau laser qui balaye la surface à enregistrer et d'un récepteur (une caméra numérique) qui examine la distorsion du faisceau réfléchi pour analyser la situation spatiale. Cette méthode est appelée triangulation car l'émetteur laser, le récepteur et le point laser forment un triangle.

Une des limites majeures de cette technique est qu'elle est grandement influencée par l'état de surface de l'objet scanné. Si la surface est inhomogène (restauration métallique, salive en grande quantité...), cela entraîne une réflexion diffuse du faisceau laser et réduit la précision de mesure (22). Pour pallier cet inconvénient, il est possible de poudrer la surface dentaire (23).

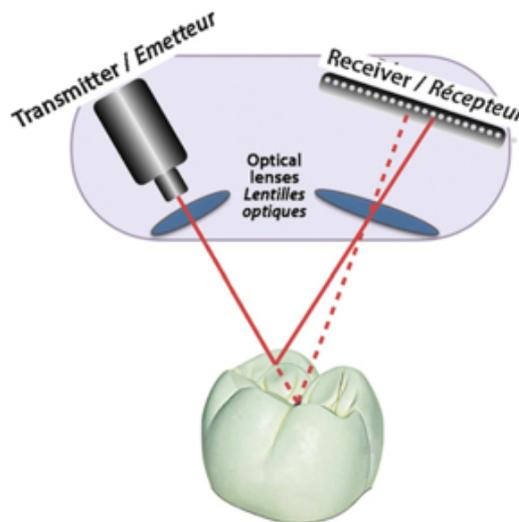


Figure 5 : acquisition par triangulation (16).

- **par projection de franges de lumière** (Figure 6) : projection, au travers de filtres, d'un motif de lumière structurée sous forme de franges de lumière, c'est-à-dire de bandes rectilignes de lumière projetée par un laser. La lumière est ensuite réfléchi sur la surface à scanner et est enfin perçue par un récepteur.

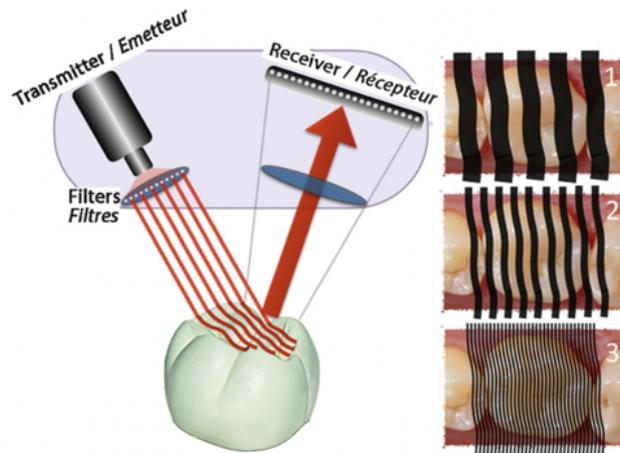


Figure 6 : acquisition par projection de franges de lumière (16).

- **par imagerie parallèle confocale** (Figure 7) : projection d'une lumière laser à travers un sténopé, c'est-à-dire une très petite ouverture, puis réfléchi par le biais d'un miroir.

Cette technique permet d'enregistrer uniquement les points nets se trouvant dans le plan focal (ici le faisceau rouge est éliminé car il n'est pas dans le même plan que les deux faisceaux bleus). La profondeur de champ du système étant connue, la distance à l'objet peut être déterminée.

Le plan focal peut être modifié en bougeant la pièce à main de l'empreinte numérique. L'image tridimensionnelle est ensuite reconstituée en assemblant informatiquement les différentes tranches obtenues (technique utilisée par iTero® de Cadent et Trios® de 3Shape).

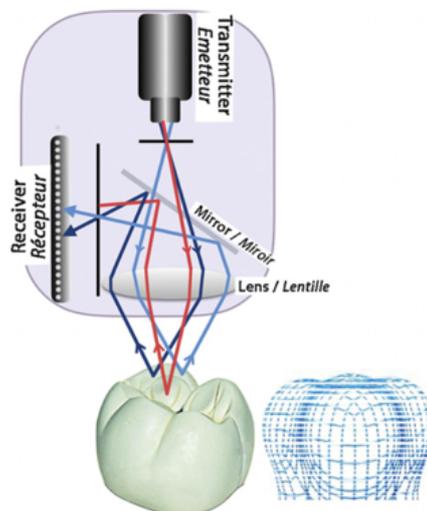


Figure 7 : acquisition par imagerie parallèle confocale (16).

- **par vidéo stéréophotogrammétrique** (Figure 8) : nécessite un éclairage par une source de lumière blanche ou de lumière laser. Deux, ou plusieurs, caméras vidéo HD (haute définition) décalées dans leur positionnement spatial vont capter des vues différentes des surfaces à scanner. Les distances entre les deux points sont calculées selon au moins deux perspectives différentes pour déterminer leurs coordonnées tridimensionnelles.

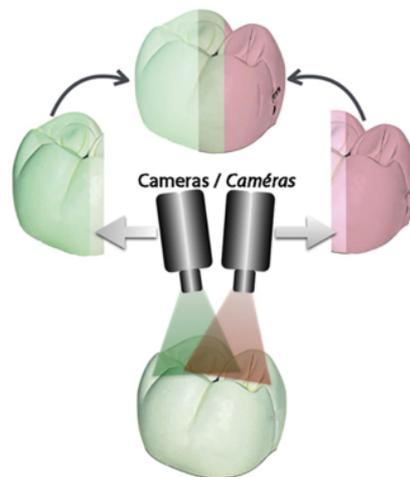


Figure 8 : acquisition par vidéo stéréophotogrammétrique (16).

Nous venons d'aborder la technologie numérique de l'empreinte optique mais il est important de rappeler que les modèles orthodontiques sont effectués, initialement et jusque dans les années 2010, majoritairement en plâtre.

Dans la prochaine partie, nous allons mettre en évidence les avantages et inconvénients des deux techniques mises à notre disposition (plâtre et numérique) pour réaliser les moulages dentaires, nécessaires à l'élaboration d'un plan de traitement orthodontique.

2. Les modèles d'étude

A. Moulages traditionnels en plâtre



Figure 9 : moulages dentaires en plâtre (24).

Les modèles d'étude (Figure 9) sont essentiels dans la constitution du dossier orthodontique.

Ils permettent un bon diagnostic et apparaissent comme un des documents les plus utiles dans l'élaboration du plan de traitement, garants d'un résultat esthétique et fonctionnel satisfaisant.

Selon Han *et al.*, les modèles d'étude seuls seraient parfois suffisants pour l'élaboration d'un plan de traitement. En effet, ils ont constaté que les options thérapeutiques obtenues après analyse de l'ensemble des documents initiaux (photographies, radiographies, modèles d'étude) étaient semblables à celles obtenues après analyse des moulages uniquement (2). Cela confirme leur nécessité dans l'élaboration du plan de traitement.

Les moulages dentaires permettent, entre autres, de mesurer l'indice de Bolton, les déviations des milieux, le surplomb, le recouvrement, la dysharmonie dents-arcades. Ils trouvent également leur utilité dans l'évaluation des progrès et des résultats du traitement (5,25,26).

En orthodontie, depuis la fin des années 1930, ces moulages sont essentiellement obtenus à partir d'empreintes à l'alginate (matériau d'empreinte, hydrocolloïde irréversible) (5,27).

Une fois l'empreinte alginate réalisée, elle est coulée en plâtre (Figure 9). Ces moulages en plâtre sont considérés comme le Gold Standard pour mesurer les dimensions mésio-distales dentaires (nécessaires, par exemple, au calcul de l'indice de Bolton) et pour déterminer la nécessité de réaliser un traitement orthodontique (4).

Ils ont l'avantage d'être faciles à produire, peu coûteux et donnent la possibilité de monter les modèles sur articulateur pour une analyse occlusale rigoureuse (appréciation de la différence entre occlusion d'intercuspitation maximale et occlusion de relation centrée) (2,3).

Néanmoins, ces modèles d'étude en plâtre sont lourds, encombrants et difficiles à stocker (le stockage est souvent délocalisé ce qui induit un coût supplémentaire). Ils peuvent être endommagés lors du transport ou de la manipulation (casse, perte, usure possible après mesures répétées diminuant ainsi la précision des données). La communication avec le patient et entre professionnels de santé peut également être altérée car il faut dupliquer les modèles, ce qui est chronophage et coûteux (4,6).

Une fois le traitement orthodontique terminé, les modèles doivent être conservés plusieurs dizaines d'années ce qui pose un problème d'espace de stockage à moyen terme.

Ces différents inconvénients ont motivé l'apparition des modèles numériques dans les années 1980, qui sont de plus en plus utilisés de nos jours (5,28,29).

B. Modèles numériques

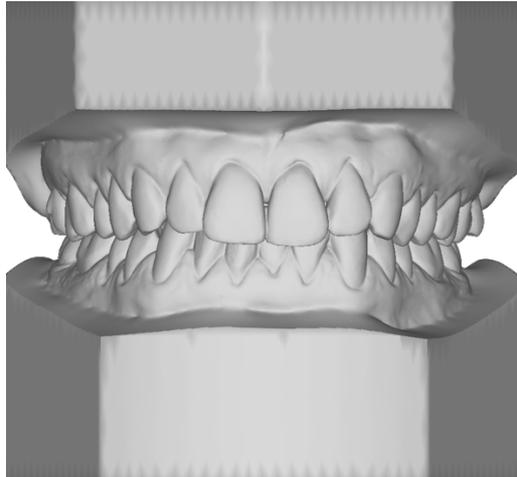


Figure 10 : modèles dentaires numériques (source personnelle).

Il faut rappeler que, si l'acquisition au fauteuil des arcades dentaires par une caméra intra-orale est récente en orthodontie, elle a commencé au début des années 1970 en omnipratique avec le Professeur François Duret (30).

Les avancées en matière de scanner numérique et de technologie CAD (*Computed Assisted Design*) ont permis une transition vers les modèles numériques.

• Avantages des modèles numériques

L'ère du numérique nous apporte, en théorie, reproductibilité et précision.

En effet, les empreintes numériques (Figure 10) sont considérées, par de nombreux auteurs, comme aussi précises que les modèles en plâtre et mènent aux mêmes possibilités diagnostiques (2,7,29).

Les empreintes numériques permettent de s'affranchir des obstacles des modèles en plâtre et offrent de nombreux avantages tels que (2,5,6,31) :

- **pas d'imprécisions** liées à une déformation du matériau d'empreinte ou à une erreur lors de coulée (par exemple : moins d'erreurs de mesure grâce à l'échelle 1/1)
- **manipulation immédiate** des empreintes (il est possible de se décharger du temps de prise du plâtre, nécessaire après coulée des empreintes conventionnelles à l'alginate)
- **confort** pour le praticien et pour le patient (réduction du réflexe nauséux)
- **facilité d'accès et de stockage** des moulages numériques
- **transfert des données** (vers le laboratoire ou un confrère) et **communication facilités** entre praticiens et patients (éducation du patient, simulation des résultats de traitement, permet de montrer l'évolution des changements de leur dentition au cours du traitement)
- **réduction du temps de travail** (il n'est plus nécessaire de choisir un porte-empreinte, de préparer et d'attendre la prise du matériau d'empreinte, de désinfecter et de couler les empreintes au laboratoire)

D'après Garino *et al.* (32), sur 120 patients ayant bénéficié d'une empreinte numérique, le temps moyen pour un scan complet est de 16,7 minutes pour les 40 premiers puis de 9,5 minutes pour les 20 derniers.

D'après Burzynski *et al.* (33), le temps moyen pour effectuer une empreinte numérique dépend de la caméra intra-orale utilisée. Avec iTero®, il faudrait 7 minutes alors qu'avec Trios® il en faudrait 8,6. Cette étude met ces valeurs en comparaison avec une empreinte conventionnelle à l'alginate qui prendrait 6,4 minutes.

La différence de temps nécessaire à la prise d'empreintes numériques dans ces deux études peut provenir des différences de technologies utilisées entre 2011 (dans l'étude de Garino) et 2018 (dans l'étude de Burzynski) mais également de l'entraînement des opérateurs.

Les temps évoqués ci-dessus font uniquement référence au temps de travail au fauteuil et négligent celui passé au traitement de l'empreinte, ce qui allonge significativement le temps nécessaire à la réalisation d'une empreinte conventionnelle.

- **réduction des délais de conception d'appareils au laboratoire et suivi facilité.** En effet, en cas de détérioration ou de perte d'un appareil, il n'est pas nécessaire de reprendre une empreinte, l'organisation au sein du cabinet est alors facilitée
- **création d'occlusogrammes** issus des scanners intra-oraux permettant de visualiser les points de contacts occlusaux et inter-proximaux en cours de traitement ce qui peut être utile en terme de biomécanique (31)
- d'après Stevens *et al.* (34), l'analyse pour **quantifier la sévérité des cas** (score ABO : *American Board of Orthodontics*, PAR : *Peer Assessment Rating*) est **facilitée.**

Selon la même étude de Garino *et al.* (32), la totalité des 120 patients a préféré les empreintes optiques à celles réalisées à l'alginat.

De plus, près de 95% trouvaient avoir vécu une « bonne » expérience et la recommanderaient.

Enfin, Burzinsky *et al.* (33) nous rapportent que la majorité des 180 patients éprouvait significativement moins de douleurs et plus de confort avec l'empreinte numérique qu'avec les empreintes conventionnelles.

Malgré de nombreux avantages, les empreintes numériques présentent certains inconvénients et limites.

• Inconvénients des modèles numériques

Tout d'abord, nous pouvons évoquer le coût important que représente l'achat d'une caméra intra-orale (le prix moyen est d'environ 30 000 euros et peut varier de 20 000 à 45 000 euros) (35–37). Il s'agit d'un investissement de taille qu'il faut rentabiliser sur de nombreuses années.

Concernant leur utilisation, certaines caméras nécessitent une isolation stricte des muqueuses (aspiration, séchage des surfaces, mise en place d'un écarteur) ce qui complexifie la mise en œuvre.

De plus, un poudrage des surfaces dentaires avant acquisition est parfois requis lorsque, par exemple, des restaurations métalliques sont présentes. Ce poudrage au dioxyde de titane peut s'avérer inconfortable et gênant pour le patient (23).

Enfin, la taille de l'embout intra-oral peut représenter un problème en cas d'ouverture buccale réduite (38).

L'analyse des occlusions inversées, notamment au niveau des dents postérieures, peut également être plus complexe sur modèles numériques : l'angle de vue et la quantité d'agrandissement vont jouer un rôle majeur dans leur mise en évidence (34).

Ces inconvénients sont à modérer en fonction de la capacité et de l'habitude des praticiens à réaliser une empreinte numérique et à travailler avec des modèles dématérialisés, en fonction de leur expérience (3).

C. Comparaison des mesures réalisées sur modèles en plâtre et modèles numériques

Un traitement orthodontique bien mené se base sur un diagnostic précis et une planification de traitement claire. Pour cela, l'analyse de l'espace, la mesure des diamètres mésio-distaux de chaque dent, de la forme d'arcade et ses dimensions, des dysharmonies dento-dentaires et dents-arcades doivent être réalisées.

Ces mesures sont nécessaires, entre autres, pour quantifier l'encombrement aux deux arcades, surtout dans les cas pouvant nécessiter des extractions.

Historiquement, cette procédure était réalisée manuellement sur modèles en plâtre, ce qui peut être chronophage (39). Afin de gagner du temps, ces dernières années, des études ont été menées sur des photographies et des reproductions numériques du modèle initial en plâtre et plus récemment sur des modèles numériques uniquement (25).

Nombreux sont les articles comparant les mesures réalisées au pied à coulisse sur modèles en plâtre et celles obtenues sur une empreinte numérique par le biais d'un logiciel.

Les résultats des différentes études ne permettent pas d'aboutir à un consensus concernant le meilleur support sur lequel réaliser nos mesures.

Certains auteurs concluent que les mesures calibrées et faites à la main sur les modèles en plâtre sont plus fiables, précises et reproductibles que les mesures réalisées sur modèles numériques par le biais d'un logiciel.

C'est le cas de Santoro *et al.* (26) et de Zilberman *et al.* (39) qui mettent en évidence une dimension mésio-distale plus faible sur les modèles numériques que sur le plâtre. Cette différence, qui serait due à un défaut de mise en évidence des espaces interproximaux sur modèles numériques, n'est néanmoins pas statistiquement significative (41).

D'autres études révèlent de meilleurs résultats pour les mesures faites sur modèles numériques.

Les mesures seraient plus fiables, surtout en ce qui concerne la mesure de la Courbe de Spee car les lignes séparant les cuspides des molaires et des canines peuvent être tracées, facilitant ainsi le calcul de la distance par rapport aux points les plus profonds (Figure 11) (31).

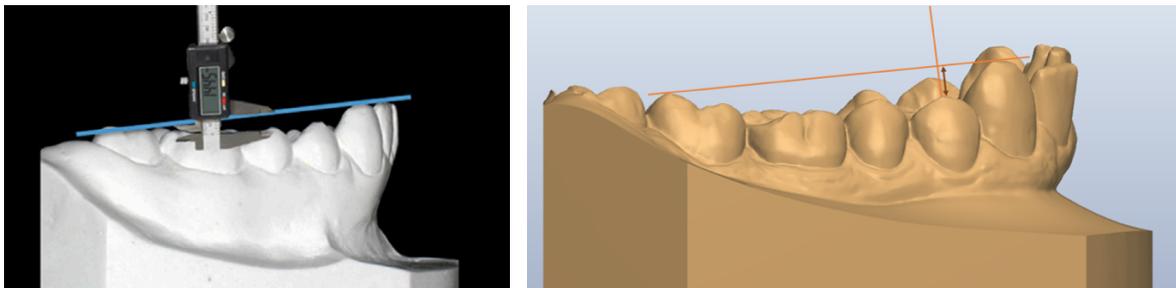


Figure 11 : mesure de la Courbe de Spee sur modèle en plâtre (à gauche) (42) et numérique (à droite) (source personnelle).

Enfin, certaines études concluent à une absence de différence **cliniquement significative** entre les deux techniques de mesures sur modèles en plâtre ou numériques (6,40,43,44).

Pour ces différents auteurs, cela concerne notamment les mesures de l'encombrement, des dimensions mésio-distales, de la longueur et largeur de l'arcade, du surplomb, et du recouvrement (45).

Les modèles digitaux seraient alors, d'après Keating *et al.* (6), suffisants pour analyser les relations occlusales pré- et post-traitement.

Ces différences de conclusion s'expliqueraient par plusieurs facteurs.

D'après Asquith *et al.* (46) ainsi que Fleming *et al.* (47), ce serait davantage dû à l'incapacité de l'opérateur à déterminer de manière précise et reproductible les points à partir desquels les mesures sont réalisées plutôt qu'à un problème de logiciel (en effet, l'interprétation des structures anatomiques peut donner lieu à des différences). Cette variabilité inter-examineurs, due à la courbe d'apprentissage et à la période d'adaptation des praticiens au numérique, est aussi un des points clés à prendre en compte (41,48).

Concernant les modèles en plâtre, les erreurs de mesures pourraient venir d'un mauvais stockage des empreintes alginate et de la coulée tardive induisant des déformations et donc des mesures erronées (44).

D'après Asquith *et al.* (46), la plupart des paramètres dentaires peuvent être mesurés sur des modèles numériques avec une différence moyenne de moins de 0,5 mm par rapport à des modèles en plâtre.

Pour conclure, il semblerait que la mesure sur modèles numériques soit plus appropriée pour une utilisation clinique quotidienne, en tant qu'outils diagnostiques, car ils offrent de nombreux avantages et possibilités pour le futur.

Reuschl *et al.* (49), affirment que l'on peut gagner jusqu'à deux minutes par set de modèles (c'est-à-dire par patient) si les mesures sont réalisées sur des empreintes numériques par rapport à des mesures manuelles sur plâtre.

Outre les hétérogénéités retrouvées au niveau des mesures, des différences significatives concernant l'analyse des éléments diagnostiques et la biomécanique mise en place au cours du traitement ont été notées, en fonction du support donné aux praticiens : modèles numériques *versus* modèles en plâtre + modèles numériques.

En effet, les modèles en plâtre permettraient de mieux apprécier la décompensation nécessaire avant un traitement orthodontico-chirurgical, la quantité d'expansion maxillaire transversale nécessaire avant une disjonction rapide chirurgicalement assistée, la morphologie dentaire ou encore les cas d'extractions asymétriques (3).

3. Système CAD/CAM (Computed Assisted Design/Computed Assisted Manufacturing)

Après avoir étudié les premières étapes du flux numérique (prise d'empreintes et analyse des modèles à l'aide des différentes mesures) (Figure 2), nous allons désormais aborder rapidement les grandes possibilités qu'offrent cette digitalisation.

À savoir :

- **la fabrication d'appareils individualisés après envoi de l'empreinte numérique au laboratoire.**

La chaîne numérique prothétique n'est pas une nouveauté en orthodontie.

Le système CAD (*Computed Assisted Design*) implique un scanner laser dont l'application en orthopédie dento-faciale a été introduite par Kuroda *et al.* en 1996 (11). Depuis, de nombreux laboratoires ont intégré, au moins partiellement, la conception digitale des appareillages.

Initialement, cette conception-fabrication assistée par ordinateur s'effectuait à partir de moulages traditionnels en plâtre scannés numériquement.

Nous verrons plus en détail les différentes possibilités de fabrication de dispositifs orthodontiques par la suite.

- **la réalisation de set-ups numériques.**

En effet, l'image numérisée permet l'élaboration de **set-ups diagnostiques** de différentes options thérapeutiques envisagées pour un même patient mais également des **set-ups thérapeutiques** dans l'optique de fabriquer des appareils individualisés sur-mesure (49).

II. Set-up conventionnel et set-up numérique

1. Rappels sur le set-up et ses indications

Il existe deux principales applications au set-up :

- le **set-up diagnostique** : sert à simuler une ou plusieurs alternatives thérapeutiques. Il permet la facilitation du diagnostic orthodontique et la planification du plan de traitement,
- le **set-up thérapeutique** : constitue un support dans la fabrication d'appareils orthodontiques (aligneurs, orthodontie linguale, arcs individualisés, collage indirect...).

C'est un procédé introduit par Harold Kesling en 1945 (9).

À cette époque, il l'utilise pour la confection d'un positionneur (contention active invitant les dents à bouger dans la meilleure position possible en relation avec les dents adjacentes et antagonistes sans les interférences créées par les bagues ou les arcs), comme aide à la finition du traitement orthodontique (Figure 12) (9).

Initialement réalisé en plâtre, dont nous aborderons la technique de fabrication dans la partie à venir, il regagne en popularité et devient numérique dans les années 1980 avec l'essor du collage indirect en technique linguale (50).

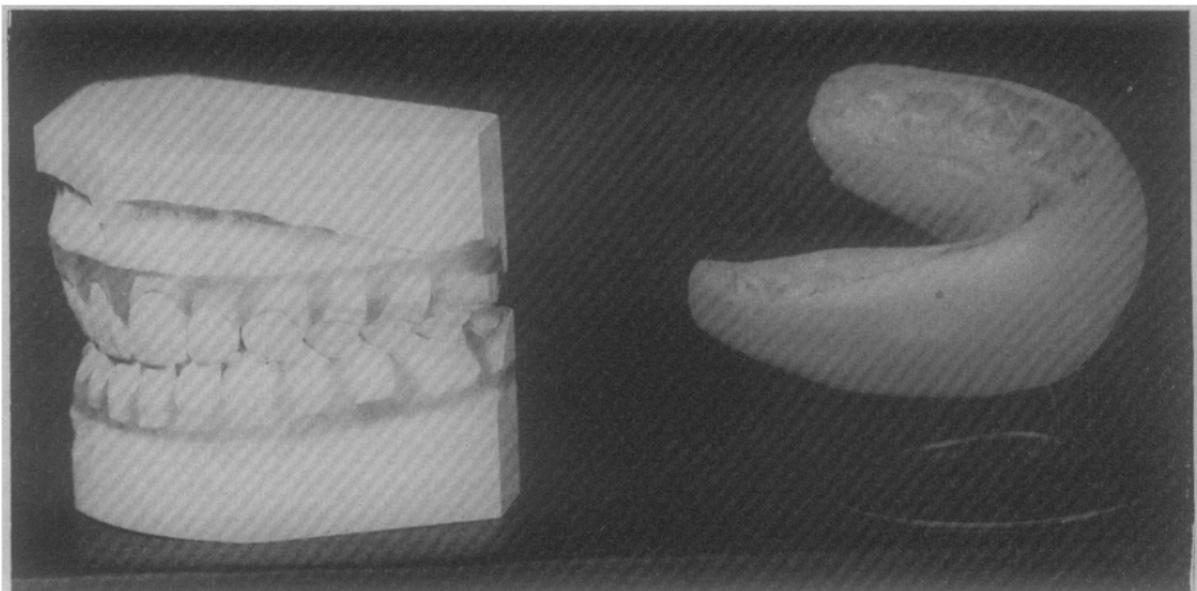


Figure 12 : set-up en plâtre (à gauche) et positionneur (à droite) (9).

L'utilisation d'un set-up est recommandée afin d'aider à la planification du plan de traitement orthodontique et de visualiser le résultat final (en comparaison, par exemple, à l'analyse seule de l'indice de Bolton qui peut ne pas être aussi précis pour objectiver l'occlusion finale) (51).

Il trouve principalement son utilité dans les cas suivants :

- **extraction d'une incisive mandibulaire** afin de prédire le résultat final, notamment en terme de surplomb, de recouvrement et de Classe d'Angle molaire et canine (51).

Elle peut être envisagée (52) :

- chez l'adulte en Classe I d'Angle.
- avec encombrement mandibulaire modéré. En effet, un encombrement sévère orienterait vers des extractions de prémolaires.
- avec un encombrement maxillaire léger (pouvant se gérer par réduction inter-proximale) voire inexistant.
- avec un surplomb et un recouvrement relativement corrects.

D'après Vignesh *et al.* (53), il serait mieux d'éviter d'entamer un traitement avec extraction d'une incisive mandibulaire si le set-up réalisé au préalable ne montre pas une occlusion post-traitement satisfaisante.

C'est également ce que concluent Owen *et al.* en 1993 (52) en émettant le constat suivant : si le surplomb final sur le set-up est augmenté, il convient d'effectuer une réduction inter-proximale (*RIP*) au maxillaire. Cependant, si la *RIP* est trop importante, un changement de plan de traitement s'impose.

Des inquiétudes peuvent être portées sur la stabilité à long terme d'un tel traitement.

- **agénésie d'une incisive latérale maxillaire, controlatérale riziforme (54).**

Le set-up diagnostic met clairement en évidence les problèmes de taille de dents et l'importance du maquillage ultérieur afin d'obtenir des relations verticales et sagittales les plus cohérentes possibles (Figure 13).

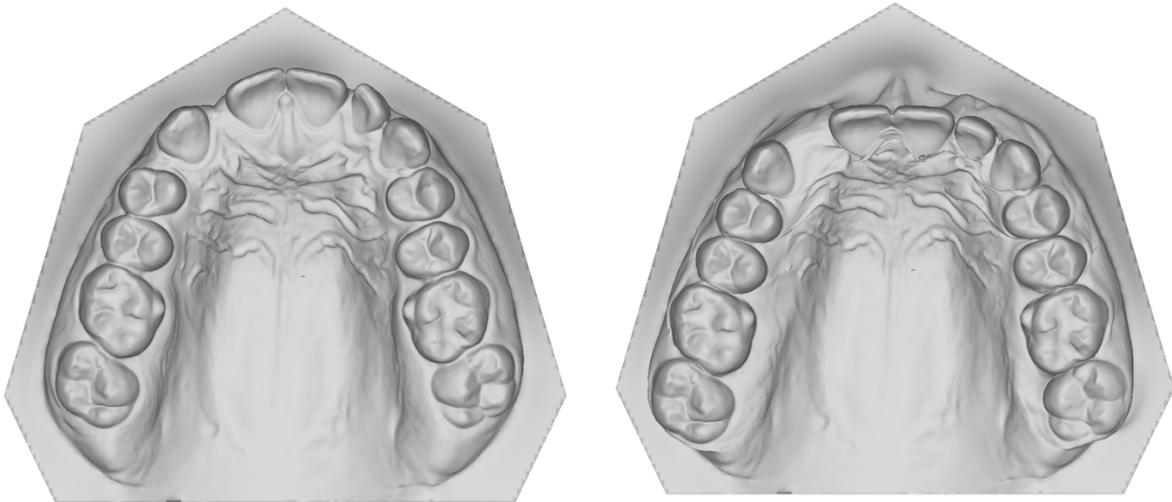


Figure 13 : modèle initial avec agénésie de 12 et 22 riziforme (à gauche), set-up avec ouverture de l'espace de 12 et aménagement méso-distal de 22 (à droite) (source personnelle).

Chez les patients nécessitant des reconstitutions prothétiques esthétiques, un set-up visuel réalisé sur photographie intra-buccale peut trouver son utilité dans la planification des mouvements verticaux (ingression, égression) et méso-distaux nécessaires pour obtenir des relations occlusales correctes et pour prédire la quantité d'espace à laisser afin que le chirurgien-dentiste puisse redonner une forme idéale en fin de traitement. Cet outil est également utile pour donner une idée du résultat du traitement aux patients. Ils peuvent alors comprendre plus facilement en quoi consiste le traitement et sont plus à même de donner leur consentement éclairé (55).

C'est ce que propose le concept du Digital Smile Design® (56) (Figure 14). On peut alors parler de set-up numérique photographique.



Figure 14 : résultat du Digital Smile Design (56).

- **cas dits « limites »** qui peuvent être traités par différentes options thérapeutiques (exemple : agénésies multiples, schéma d'extractions asymétriques, Classe III avec incisive mandibulaire surnuméraire...) (51,57). Cela permet au praticien d'être moins spéculatif sur le résultat attendu et d'offrir des informations précises sur les objectifs finaux à obtenir (58).

Plus généralement, le set-up peut être utile afin de voir l'éventuelle nécessité d'ancrage supplémentaire (ex : ancrage osseux temporaire), la quantité de réduction inter-proximale, la nécessité d'extraction et le schéma d'extraction le plus approprié (8).

2. Le set-up conventionnel

Comme nous l'avons abordé précédemment, les modèles d'étude en plâtre jouent un rôle clé dans le diagnostic orthodontique. Ils permettent, entre autres, l'analyse de l'espace, de la symétrie d'arcade, d'évaluer l'indice de Bolton mais aussi de réaliser des set-ups.

Le premier set-up manuel publié date de 1945 (9).

A. Critères d'élaboration d'un set-up orthodontique

Avant de se lancer dans la réalisation d'un set-up, il convient de connaître les principaux repères et critères pouvant servir de guide à l'orthodontiste et au prothésiste (59).

Ils peuvent être classés en 3 catégories :

- critères dentaires intra-arcades
- critères dentaires inter-arcades
- critères gnathologiques

• Critères dentaires intra-arcades

Ce sont les critères que l'orthodontiste utilise pour déterminer la position idéale de chaque dent en respectant les autres au sein des arcades maxillaire et mandibulaire.

Avant qu'Andrews *et al.* (60,61) en 1972, ne mettent au point les 6 clés de l'occlusion, il n'y avait pas de consensus sur la nature idéale de l'occlusion statique finale.

Ces critères sont les suivants :

- **angulation mésio-distale de la couronne (*tip*) – deuxième clé d'Andrews :**
Le *tip* coronaire est l'angle entre l'axe de la couronne dentaire et la perpendiculaire au plan d'occlusion.
Idéalement, la portion gingivale de la couronne est plus distale que le bord libre/bord occlusal.
En fonction de la dent et de l'arcade concernées, le *tip* est différent (Figure 15).

Stoller *et al.* (62), décrivent de manière précise le *tip* que doit avoir la première molaire. Cela constitue d'ailleurs une des 6 clés d'Andrews. La couronne de la première molaire permanente maxillaire devrait être inclinée en mésial. Cela permet alors à la cuspide disto-vestibulaire de se loger parfaitement dans l'espace interproximal situé entre la première et la deuxième molaire mandibulaire.

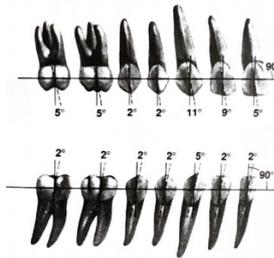


Figure 15 : *tip* coronaire en fonction de chaque dent (63).

- **inclinaison vestibulo-linguale (torque) – troisième clé d'Andrews :**

Le *torque* est l'angle que forment la ligne perpendiculaire au plan occlusal et celle tangente au grand axe de la couronne dentaire en vue sagittale, passant par le bombé vestibulaire.

Le *torque* est différent selon la dent et l'arcade concernées (Figure 16).

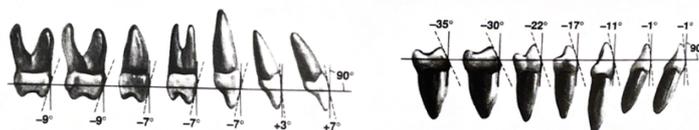


Figure 16 : *torque* en fonction de chaque dent maxillaire (à gauche), mandibulaire (à droite) (63).

- **valeurs de in/out :**

Les valeurs de *in/out* en fonction de la dent et l'arcade concernées peuvent être retrouvées sur la Figure 17.

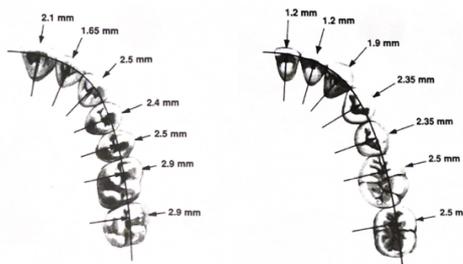


Figure 17 : valeurs de *in/out* en fonction de chaque dent maxillaire (à gauche), mandibulaire (à droite) (63).

- **rotations :**

Les premières et deuxièmes molaires maxillaires doivent avoir une rotation mésio-vestibulaire d'environ 10°.

Afin d'objectiver cela, la ligne passant par les cuspidés disto-vestibulaire et mésio-palatine doit passer par la pointe canine opposée (selon Ricketts).

- **contacts inter-proximaux :**

Afin de maintenir l'alignement dentaire, il est important que les contacts interproximaux et occlusaux soient corrects. Il ne doit persister aucun diastème qui pourrait engendrer la migration de la dent adjacente.

- **distances inter-canines et inter-molaires :**

Ces distances doivent rester inchangées, autant que possible, tout au long du traitement afin de réduire au maximum le risque de récurrence.

- **longueur et largeur d'arcade :**

L'arcade mandibulaire (126 mm) est généralement plus courte que l'arcade maxillaire (128 mm). Cela s'explique par un diamètre mésio-distal réduit des incisives mandibulaires par rapport à celles maxillaires.

La largeur de l'arcade mandibulaire est également plus petite que celle maxillaire.

- **forme d'arcade :**

La forme d'arcade finale doit être la plus fidèle à la forme initiale afin d'éviter au maximum les risques de récurrence, notamment à la mandibule.

• **Critères dentaires inter-arcades**

Les critères inter-arcades sont des points de référence que l'orthodontiste utilise pour identifier la position idéale des dents, en prenant en considération les relations occlusales entre les deux arcades :

- **contacts occlusaux :**

Des contacts occlusaux efficaces réduisent le risque de récurrence orthodontique mais permettent également une fonction masticatoire optimale. Ils jouent aussi

le rôle de protection des tissus mous en évitant les morsures jugales et linguales.

- **position de la première molaire permanente :**

La première molaire maxillaire doit être en Classe I d'Angle mais également présenter une angulation méso-distale de la racine en direction distale (Figure 18).

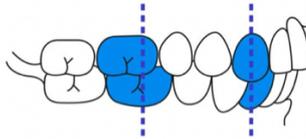


Figure 18 : schéma présentant une Classe I molaire et canine d'Angle (64).

- **position des prémolaires et des canines :**

Elles doivent également être en Classe I d'Angle (Figure 18).

- **position des incisives, surplomb et recouvrement :**

Le surplomb doit être de 2 à 3 mm. Les bords libres des incisives mandibulaires doivent être, en occlusion, au niveau des cinguli des incisives maxillaires.

Le recouvrement quant à lui doit être de 2 mm. Cela est garant d'un guide incisif de bonne qualité.

- **taille des dents (analyse de Bolton) :**

Un indice de Bolton présentant une différence de moins de 1,5 mm a peu d'influence sur les résultats orthodontiques à prévoir. Au-delà, une réduction inter-proximale (si excès) ou alors des restaurations méso-distales (si défaut) seront à prévoir.

• **Critères gnathologiques :**

La gnathologie est l'étude des relations statiques et dynamiques entre le maxillaire et la mandibule.

- **courbe de Wilson :**

C'est une ligne imaginaire en vue frontale passant par les cuspidés vestibulaires et linguales des molaires (Figure 19). A la mandibule, elle est concave tandis qu'au

maxillaire, elle est convexe. Cela est dû au torque radiculo-vestibulaire des dents postérieures mandibulaires et au torque radiculo-palatin des dents postérieures maxillaires.

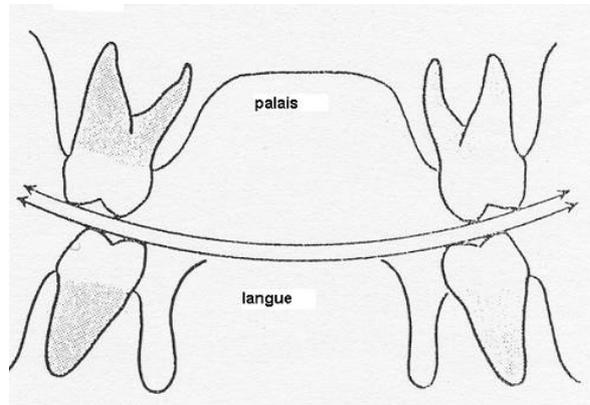


Figure 19 : courbe de Wilson (65).

- **courbe de Spee :**

C'est une ligne imaginaire en vue latérale (Figure 20), décrite par Von Spee en 1928, passant par les cuspides vestibulaires des dents postérieures. Elle est convexe au maxillaire et concave à la mandibule. Au cours du traitement orthodontique, ces courbes sont nivelées et doivent être peu marquées en fin de traitement pour prévenir le fait qu'elles ont tendance à se marquer au fur et à mesure du temps.

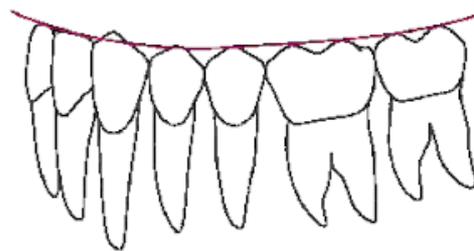


Figure 20 : courbe de Spee (66).

- **mouvements dynamiques :**

La mandibule doit pouvoir réaliser les mouvements de propulsion, diduction et rétrusion.

B. Techniques de réalisation du set-up en plâtre

Une fois les critères d'élaboration du set-up connus, il est possible de se lancer dans sa réalisation. Nous allons traiter dans cette partie la procédure de réalisation d'un set-up diagnostique en plâtre, en la détaillant étape par étape (58,59).

1. **Choix du plan de traitement** à simuler sur le set-up après avoir analysé de façon précise les documents récoltés lors du bilan orthodontique.
2. **Duplication** des modèles initiaux en plâtre reflétant la malocclusion du patient.
3. **Enregistrement de la ligne médiane** :

La coïncidence des milieux inter-incisifs maxillaire et mandibulaire constitue un des objectifs de notre traitement (ce pour raisons fonctionnelles et esthétiques). Il convient alors de marquer, à l'aide d'une règle et d'un crayon bleu, sur les socles des modèles, les milieux inter-incisifs maxillaire et mandibulaire initiaux. Puis à l'aide d'un crayon rouge, le plan sagittal médian sur lequel les médianes inter-incisives devront se superposer en fin de traitement (Figure 21).

Cela servira de guide lors du montage des dents au cours des étapes suivantes.

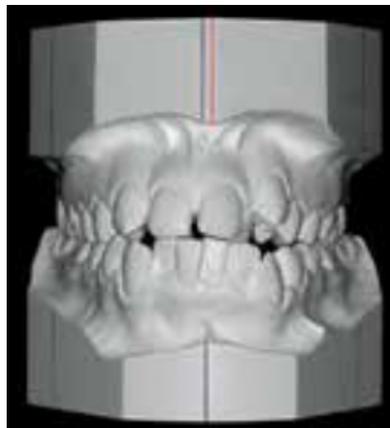


Figure 21 : mise en évidence des milieux inter-incisifs initiaux (en bleu) et finaux (en rouge) (58).

4. **Enregistrement de l'axe de la première molaire** :

Il convient de marquer au crayon sur les couronnes des premières molaires maxillaires et mandibulaires, l'inclinaison mésio-distale des racines dentaires, en s'aidant de la radiographie panoramique.

Cette marque est faite au centre de la cuspide mésio-vestibulaire au maxillaire et entre les cuspides mésio-vestibulaire et centrale mandibulaire. Ensuite, ces marques sont étendues sur les bases des moulages (Figure 22).

Cette étape est cruciale dans l'évaluation des mouvements sagittaux effectués pendant le set-up, signe d'une éventuelle perte d'ancrage ou distalisation.



Figure 22 : marquage de l'inclinaison mésio-distale des premières molaires maxillaires et mandibulaires (58).

5. Enregistrement de la forme d'arcade mandibulaire :

Afin d'éviter les récives, il est recommandé de conserver la forme d'arcade mandibulaire initiale lors du traitement orthodontique (67,68). Une forme guide doit alors être élaborée à l'aide d'un fil rigide tel que de l'acier 0.021x0.026-in ou 0.032-in. Celle-ci permettra d'éviter les déformations lors de la préparation du set-up. Le fil passe au niveau des bords libres des incisives, des pointes canines, des cupides vestibulaires des prémolaires et molaires. Cela permet également de se rendre compte de la symétrie de l'arcade qui doit être maintenue lors de la procédure (Figure 23).

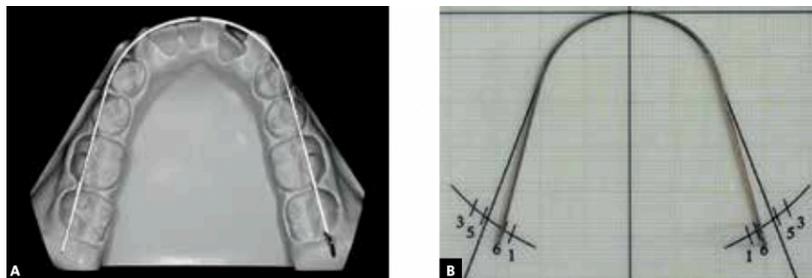


Figure 23 : enregistrement de la forme d'arcade (à gauche), vérification de la symétrie d'arcade (à droite) (58).

6. Enregistrement de la position de l'incisive mandibulaire :

La position de l'incisive mandibulaire signe clairement une occlusion satisfaisante et un profil cutané équilibré.

Le milieu inter-incisif mandibulaire est reporté sur la paroi alvéolaire au niveau lingual. La position antéro-postérieure de l'incisive mandibulaire peut être matérialisée grâce à une clé en silicone. La marque linguale du milieu inter-incisif devrait se reporter sur le silicone pour servir de guide lors de la découpe médiane de la clé.

Ensuite, un morceau de papier quadrillé est collé au silicone coupé dans le sens sagittal en suivant la ligne inter-incisive. Ce papier millimétré servira de guide pour quantifier le mouvement de l'incisive mandibulaire une fois le plan de traitement simulé (ingression, égression, vestibuloversion, linguoversion) (Figure 24).

Enfin, il convient également d'enregistrer, à l'aide d'un silicone, la dimension verticale postérieure entre les deux arcades. Cela est notamment utile en cas d'instabilité occlusale (béance, nombreuses dents manquantes...) et permet d'éviter les risques de perte de dimension verticale et de mouvements indésirables dans le sens transversal (Figure 25).

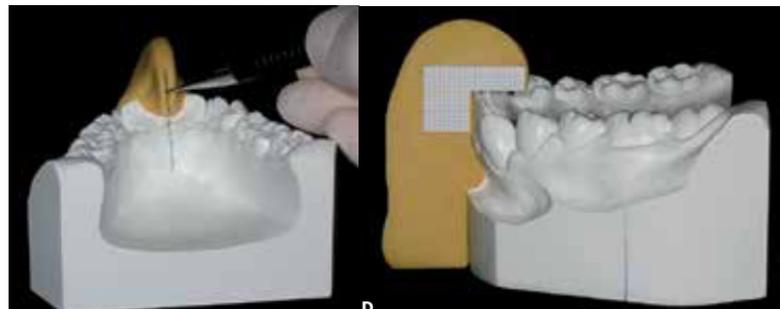


Figure 24 : clé en silicone matérialisant la position initiale de l'incisive mandibulaire (à gauche), clé en silicone découpée sagittalement, support du papier quadrillé (à droite) (58).



Figure 25 : enregistrement de la dimension verticale postérieure (58).

7. Identification et individualisation de chaque dent :

Avant de libérer les dents de leur socle, il convient de les identifier en marquant chacune leur numéro correspondant (Figure 26).

Une ligne doit être tracée afin de limiter la région de la crête alvéolaire, se situant environ à 5 mm du collet dentaire (Figure 27).

Ensuite, les dents sont découpées verticalement et horizontalement à l'aide d'une scie circulaire (Figure 28). Cette étape est réalisée en veillant à ne pas abimer les points de contacts interproximaux.

Les deuxièmes molaires restent soudées au socle initialement afin d'aider au maintien de la dimension verticale.

Une fois les dents individualisées, des rétentions sont réalisées au niveau de leur base (Figure 29).

Une fois les dents préparées, elles sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. Ces mesures sont alors comparées à celles réalisées au préalable sur les modèles initiaux en plâtre.

Enfin, le centre des crêtes alvéolaires (dénudées alors des dents) doit être préparé en fraisant une fine rigole ainsi que des petits trous permettant d'augmenter la rétention de la cire qui viendra s'y loger (Figure 30).



Figure 26 : identification de chaque dent par leur numéro (58).



Figure 27 : tracé de la ligne limitant la crête alvéolaire (58).



Figure 28 : découpe de chaque dent à la scie circulaire (58).

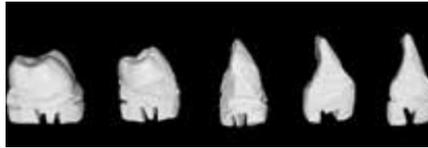


Figure 29 : dents individualisées comprenant des rétentions à leur base (58).



Figure 30 : création d'une rigole au centre de la crête alvéolaire (à gauche), mise en place de cire au sein de cette rigole (à droite) (58).

8. Montage des dents :

Les incisives mandibulaires sont placées en premier, en respectant les mouvements imposés par le plan de traitement retenu au départ (vestibuloversion, linguoversion, ingression ou égression). Ensuite, les dents restantes sont positionnées en suivant la forme d'arcade (réalisée à l'étape numéro 5), en respectant les 6 clés d'Andrews (60) mais également en préservant la distance inter-canines et inter-molaires (Figure 31).

Cette procédure est d'abord réalisée pour les secteurs maxillaire et mandibulaire homolatéraux (par exemple : découpe et montage des dents secteurs 1 et 4 puis 2 et 3, ou inversement) afin d'obtenir la meilleure intercuspidation possible.

Une fois l'étape répétée du côté controlatéral, toutes les dents sont montées dans la cire à l'exception des deuxièmes molaires (Figure 32).

Après s'être assuré d'avoir conservé la dimension verticale (Figure 33), les deuxièmes molaires peuvent alors être découpées puis montées.



Figure 31 : positionnement des incisives mandibulaires et des dents restantes secteur 3 (58).



Figure 32 : dents maxillaires et mandibulaires montées sur cire (58).



Figure 33 : contrôle de la dimension verticale (58).

9. Sculpture et finitions :

La cire est ensuite chauffée, les excédents sont retirés et les collets redessinés. Les modèles sont ensuite plongés dans une eau savonneuse puis rincés et séchés pour les rendre lisses et les faire briller.

Le set-up conventionnel en plâtre est alors terminé (Figure 34).

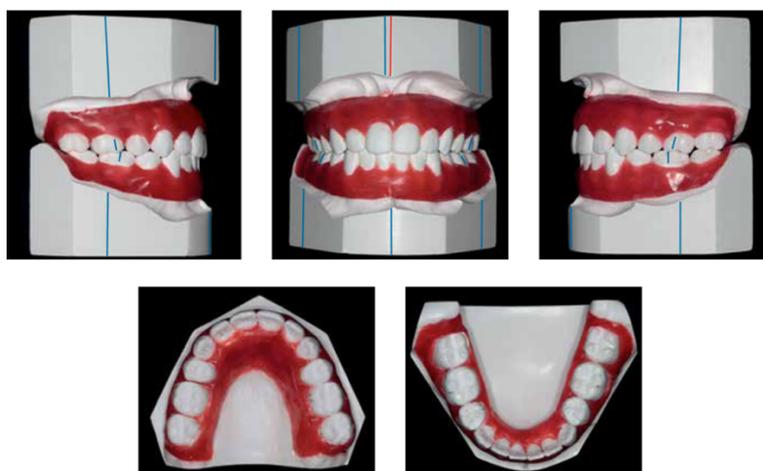


Figure 34 : set-up en plâtre terminé (58).

C. Méthodes simplifiées de réalisation de set-up en plâtre

Au vu des nombreuses étapes à respecter pour élaborer un set-up conventionnel, des auteurs ont mis au point des méthodes simplifiées permettant de gagner du temps sans entraver la qualité du résultat.

C'est le cas de Wilson *et al.* (69) et de Resnick *et al.* (70) qui proposent une technique ne nécessitant pas de scier les dents ni les modèles.

Elle consiste en la réalisation d'empreintes à l'alginat traditionnelles, qui sont ensuite coulées à l'aide de plâtre uniquement au niveau des couronnes cliniques. Cette hauteur de plâtre est ensuite recouverte d'une couche de 5 mm de cire qui sera à son tour recouverte de plâtre.

Une fois le matériau durci, les dents peuvent être individualisées simplement par pression digitale puis repositionnées en chauffant la cire, restée sur le modèle en plâtre.

Kim *et al.* (71) mettent au point une méthode s'affranchissant également de l'utilisation de la scie circulaire. Des empreintes à l'alginat sont effectuées. Chaque dent de l'empreinte est alors séparée au niveau du point de contact interproximal à l'aide de séparateur (ici l'auteur s'aide d'anciens morceaux de films radiographiques) (Figure 35). Ensuite, les empreintes sont coulées en plâtre. Durant la prise du matériau, des « pins » y sont insérés en regard de chaque dent (Figure 36). Une couche de cire puis une autre de plâtre viendront recouvrir la première couche (Figure 37).

Après la prise complète du matériau, les dents sont déjà individualisées et il est possible de les bouger directement dans la cire (Figure 38).

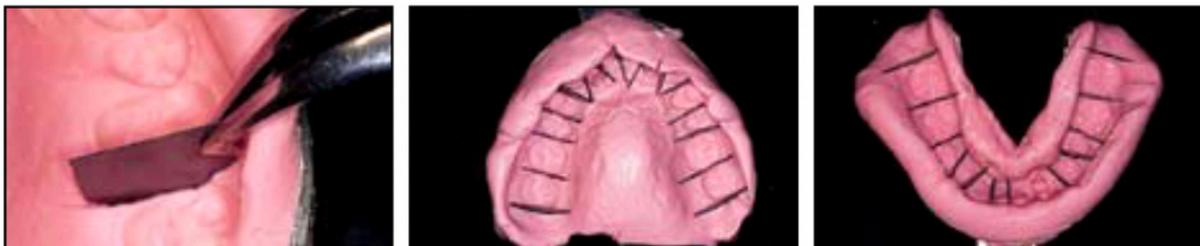


Figure 35 : séparation des dents par des films radiographiques (71).

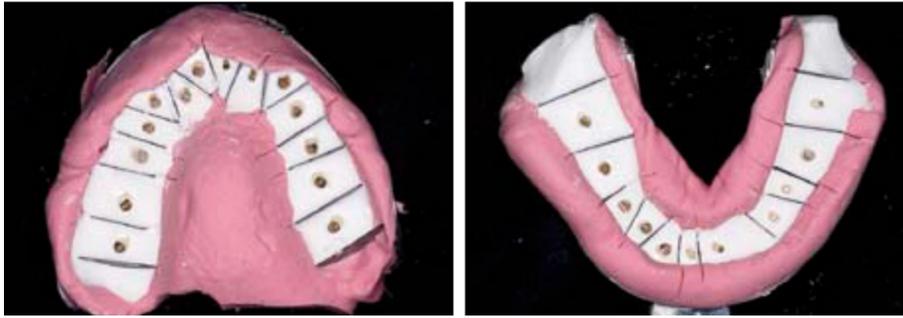


Figure 36 : "pins" insérés dans le plâtre en cours de prise en regard de chaque dent (71).

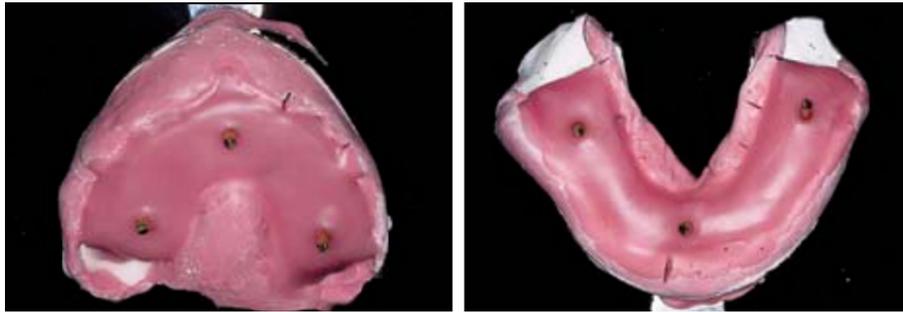


Figure 37 : couche de cire appliquée par-dessus la couche de plâtre initiale (71).



Figure 38 : moulages après retrait du porte-empainte et des séparateurs (71).

D. Interprétation du set-up en plâtre

Une fois le set-up terminé, de nombreuses informations doivent être analysées rigoureusement permettant de tirer profit au maximum des avantages qu'offre cette méthode de prévisualisation du résultat orthodontique.

Cette méthode d'analyse inclut 10 items (58) (Figure 39) :

- **extractions** : il convient de noter quelles dents ont été extraites au cours du traitement. Leurs dimensions mésio-distales doivent être relevées afin de connaître l'espace obtenu pour l'alignement, le nivellement, le repositionnement incisif et les corrections des milieux inter-incisifs.
- **changement au niveau de l'os basal** : la quantité de croissance attendue durant la période de traitement doit être enregistrée. Il en est de même pour la quantité d'avancée ou de recul des bases osseuses en cas de chirurgie orthognathique.
- **position de l'incisive mandibulaire** : il est question ici du type de mouvement effectué au niveau de l'incisive mandibulaire (vestibuloversion, linguoversion, égression, ingression).
- **nivellement** : le recouvrement et la courbe de Spee initiaux sont comparés avec le recouvrement et la courbe de Spee finaux sur le set-up.
- **milieux inter-incisifs** : il est important de noter les changements effectués au niveau des milieux inter-incisifs et de noter comment l'espace a été libéré pour les obtenir (ex : extractions de prémolaires, distalisation des dents postérieures, réduction inter-proximale...).
- **forme d'arcade** : pour s'assurer que la forme d'arcade finale est cohérente avec l'initiale, il faut comparer les distances inter-canines et inter-molaires initiales et finales.
- **relations molaires et canines d'Angle** : l'occlusion finale est comparée à l'initiale afin de visualiser les changements antéro-postérieurs obtenus.
- **ancrage** : il convient de noter les mouvements sagittaux (mésial ou distal) des molaires maxillaires et mandibulaires afin de planifier l'ancrage nécessaire au traitement de la malocclusion initiale lors du traitement orthodontique.
- **réduction inter-proximale** : les dimensions mésio-distales des dents strippées doivent être comparées à leurs dimensions initiales. Cela permet de quantifier la réduction inter-proximale (RIP) nécessaire pour obtenir un alignement et une

occlusion idéale. Il convient de rappeler que la RIP doit se faire selon l'indice de Bolton du patient (72).

- **finitions esthétiques** : il peut être intéressant de meuler légèrement certaines cuspides interférant avec une bonne intercuspidation postérieure. Les dents atteintes de microdontie ou avec une forme inhomogène peuvent également être redessinées.

SETUP ANALYSIS			
Patient:	ACGB	Age:	14 years
		Date:	04/29/2002
1. EXTRACTIONS			
1.1	Yes: (X) Teeth 14, 24, 34 and 44	No:	()
1.2	Space gained: Upper 16.8 mm (8.4 + 8.4)	Lower:	17 mm (8.5 + 8.5)
2. BASAL BONES			
2.1	Growth: ()	Surgery:	() None: (X)
3. LOWER INCISORS			
3.1	Retraction: (X) 3 mm	Proclination:	() Maintenance: ()
3.2	Intrusion: ()	Extrusion:	()
4. LEVELING			
4.1	Overbite - Initial: 0 mm	Setup:	2 mm
4.2	Intrusion: ()	Extrusion:	(X) upper incisors
5. MIDLINES			
5.1	Upper - Initial: deviated 2 mm to the right	Setup:	coincident
5.2	Lower - Initial: coincident	Setup:	coincident
5.3	Space - Extraction: (X) pre-molars	Distalization:	() Interproximal stripping: ()
6. DENTAL ARCH FORM			
6.1	Lower - Expansion: (X) canines	Contraction:	(X) molars Maintenance: ()
	Widths - Intermolar - Initial: 45 mm Setup: 44 mm	Intercanine: Initial: 26.5 mm Setup: 28 mm	
6.2	Upper - Expansion: (X)	Contraction: ()	Maintenance: ()
	Widths - Intermolar - Initial: 51 mm Setup: 52 mm	Intercanine: Initial: 30.5 mm Setup: 37 mm	
7. MOLAR AND CANINE ANTEROPOSTERIOR RELATIONSHIP			
7.1	Intermolar - Initial: Right: Class I occlusion Left: Class I occlusion		
	Setup: Right: Class I occlusion Left: Class I occlusion		
7.2	Intercanine - Initial: Right: Class I occlusion Left: Class I occlusion		
	Setup: Right: Class I occlusion Left: Class I occlusion		
7.3	Intercuspation - Satisfactory: (X) - Limitations: ()		
8. ANCHORAGE			
8.1	Anchorage loss: (X) Upper Right: 3.5 mm Left: 3.0 mm	Lower Right: 4.0 mm Left: 3.5 mm	
8.2	Distal movement: () Upper Right: _____ Left: _____	Lower Right: _____ Left: _____	
9. INTERPROXIMAL STRIPPING			
9.1	3 to 3 - Upper: ()	Lower: (X) 2.8 mm in teeth 32, 42, 33 and 43	
9.2	4 to 6 - Upper: ()	Lower: ()	
9.3	Tooth size discrepancy - 6 anterior teeth: (X) 2.8 mm lower teeth	12: ()	
10. COSMETIC FINISHING			
10.1	Stripping: (X) lingual marginal ridges of teeth 11 and 21		
10.2	Augmentation: ()		

Figure 39 : formulaire reprenant les 10 items abordés (58).

3. Le set-up numérique

De nombreux logiciels (ex : OrthoCAD®, SureSmile®, Orchestrate®...) rendent possible la création de set-ups numériques pouvant être utilisés, notamment, pour le diagnostic et le plan de traitement.

Ils fournissent également leur aide dans les techniques de collage indirect, la simulation de traitement et le design mais aussi la production d'appareils orthodontiques et de contention (63).

C'est ce que nous allons détailler dans les parties suivantes.

A. Technique de réalisation d'un set-up numérique

La réalisation d'un set-up numérique ne nécessite pas la segmentation dentaire par découpe du modèle en plâtre ni le repositionnement de chaque dent dans de la cire. Cela permet d'éviter toute perte dentaire liée à la segmentation au niveau interproximal. Celle-ci est réalisée à l'aide d'un logiciel (tels que OrthoAnalyzer®, Maestro 3D®) qui utilise une technique virtuelle semi-automatique.



Sur le logiciel OrthoAnalyzer® (73), après avoir indiqué les dents manquantes, la segmentation s'effectue à l'aide de points de repère situés en mésial et distal de chaque dent. La largeur de chaque dent est alors quantifiée et s'affiche automatiquement. Une ligne de segmentation passant le long de la ligne gingivale est ensuite créée automatiquement (« spline de découpe ») mais peut être corrigée manuellement si besoin (grâce au menu « mode d'édition rapide du spline », « segmentation manuelle de la dent »). Chaque dent est donc séparée de son parodonte environnant et des dents adjacentes (74) (Figure 40).

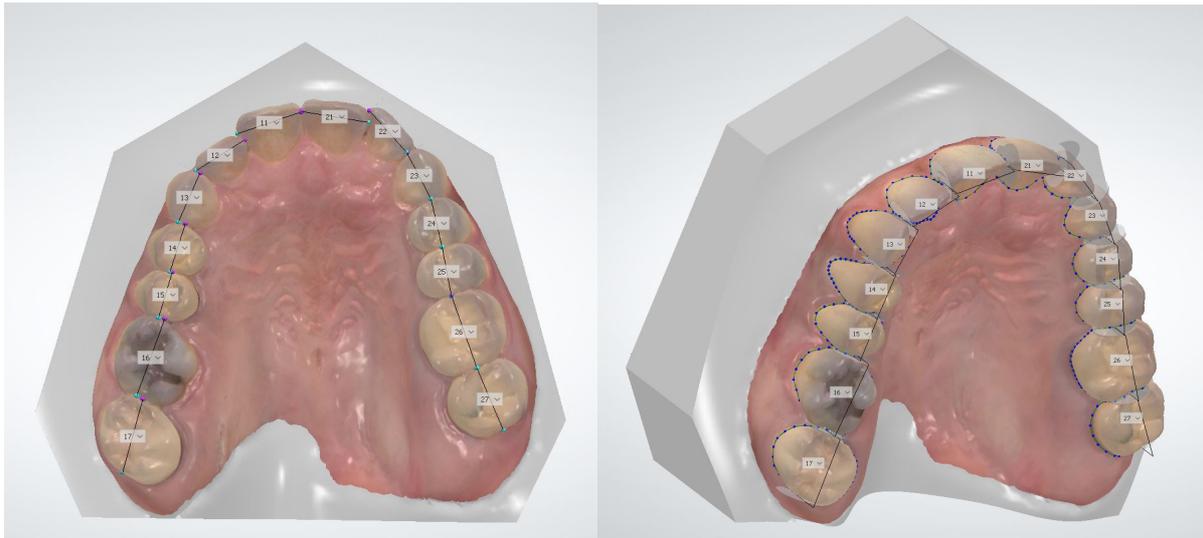


Figure 40 : segmentation de chaque dent sur OrthoAnalyzer® (source personnelle).

Une fois cette étape réalisée, il est possible de définir l'axe de la couronne d'une dent, qui sera utilisé comme base pour tous les déplacements de la dent lors du set-up virtuel. Enfin, la position du centre de rotation de la dent peut être modifiée (Figure 41). Ces outils sont particulièrement intéressants lorsqu'ils sont couplés à un CBCT ou une radiographie 2D.

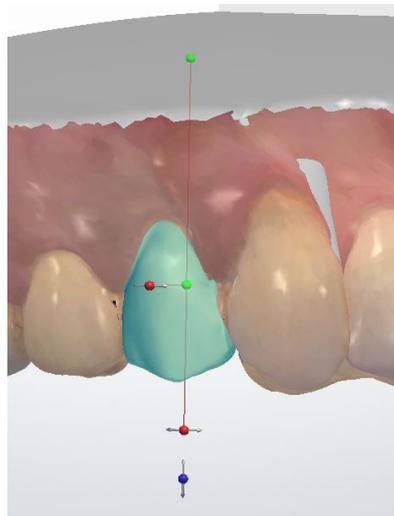


Figure 41 : visualisation du grand axe de la dent et du centre de rotation à modifier (source personnelle).



Il est également possible de réaliser une forme d'arcade personnalisée en fonction de chaque patient (Figure 42).

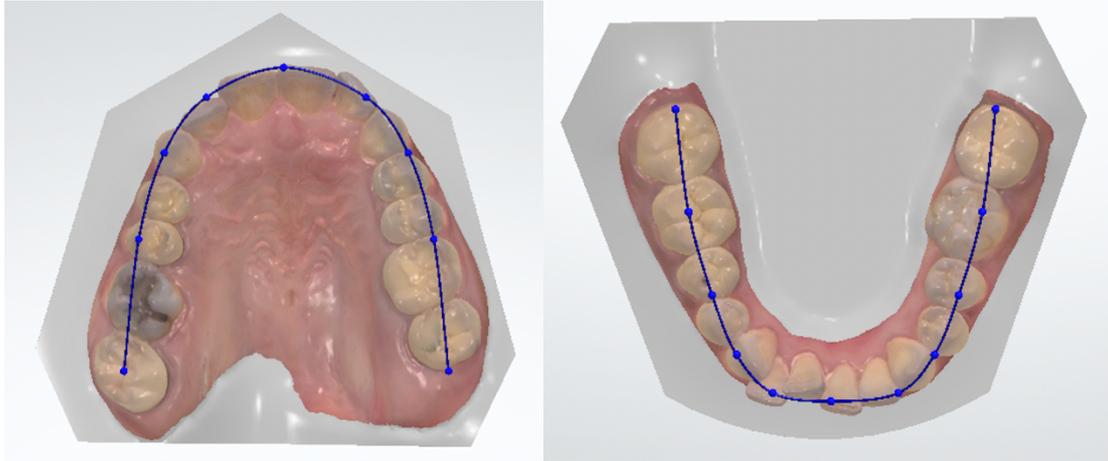


Figure 42 : formes d'arcades individualisées sur OrthoAnalyzer® (source personnelle).



Une fois ces étapes réalisées, la fonction « set-up virtuel » du logiciel permet de bouger individuellement chaque dent et de simuler le traitement orthodontique souhaité (Figure 43). Cet outil permet de créer différents set-ups et sous-set-ups (il s'agit de différentes versions du set-up initial), de comparer entre eux les set-ups créés et d'obtenir un résumé précis des mouvements de toutes les dents.



Figure 43 : interface du logiciel OrthoAnalyzer® permettant de réaliser un set-up (source personnelle).



Tout d'abord, il est important d'indiquer quelles dents sont à extraire si des avulsions sont prévues dans le plan de traitement.



Ensuite, chaque dent est sélectionnée, une à une, afin de les déplacer dans les trois sens de l'espace (librement avec la souris, avec les flèches du clavier ou en indiquant directement, grâce au pavé numérique, la quantité de mouvement souhaitée) :

- **Inclinaison** : le — correspond à du torque radiculo-vestibulaire / le + correspond à du torque radiculo-palatin
- **Angulation** : le — correspond à du tip radiculo-mésial / le + correspond à du tip radiculo-distal
- **Rotation** : le — correspond à une rotation mésio-palatine ou mésio-linguale / le + correspond à une rotation mésio-vestibulaire
- **Gauche/droite** : le — correspond à un recul (distalisation) / le + correspond à une avancée (mésialisation)
- **Avant/arrière** :
 - **En antérieur** : le — correspond à de la rétraction / le + correspond à de la protraction
 - **En postérieur** : le — correspond à de l'impansion / le + correspond à de l'expansion
- **Ingression/égression** : le — correspond à de l'égression / le + correspond à de l'ingression.

Un tableau des mouvements est disponible (« vue d'ensemble des déplacements dentaires »), récapitulant ce qui a été réalisé en termes de torque, tip, rotation, mouvements mésio-distaux, transversaux et verticaux (Figure 44).

	Inclinaison	Angulation	Rotation	Gauche/Droite	Avant/Arrière	Extrusion/Intrusion
18	-	-	-	-	-	-
17		4.0 deg	6.0 deg	0.1 mm	1.5 mm	-0.2 mm
16			9.0 deg	0.9 mm	1.9 mm	-0.2 mm
15				1.0 mm	1.5 mm	-0.6 mm
14				1.0 mm	1.5 mm	-0.2 mm
13	2.0 deg	-2.0 deg	-5.0 deg	1.6 mm		0.2 mm
12	10.0 deg	-2.0 deg	1.0 deg	0.4 mm	-2.0 mm	0.1 mm
11		-5.0 deg	-2.0 deg	1.4 mm	-0.7 mm	0.5 mm
21		-2.0 deg		0.4 mm	-1.0 mm	0.4 mm
22	8.0 deg	-12.0 deg	-18.0 deg	2.6 mm	-3.3 mm	-0.6 mm
23	1.0 deg	5.0 deg	-2.0 deg	-1.9 mm		-0.2 mm
24		-8.0 deg		2.1 mm	1.0 mm	
25		-4.0 deg		0.7 mm	1.5 mm	
26			6.0 deg	-0.6 mm	1.5 mm	0.3 mm
27			6.0 deg	-0.6 mm	0.5 mm	0.2 mm
28	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
37			10.0 deg	-0.1 mm	1.0 mm	0.8 mm
36	4.0 deg		19.0 deg	0.2 mm	1.9 mm	0.3 mm
35			-6.0 deg	0.6 mm	1.5 mm	0.5 mm
34			-6.0 deg	0.3 mm	1.0 mm	0.8 mm
33	4.0 deg	-2.0 deg	-13.0 deg	0.8 mm	-0.8 mm	1.1 mm
32		3.0 deg	13.0 deg	-0.7 mm	-0.4 mm	0.7 mm
31	3.0 deg	4.0 deg	15.0 deg	-1.1 mm	-1.5 mm	1.0 mm
41	14.0 deg	7.0 deg	12.0 deg	-2.2 mm	-2.9 mm	1.4 mm
42	4.0 deg	7.0 deg	6.0 deg	-2.6 mm	-2.2 mm	-0.9 mm
43	18.0 deg	1.0 deg	-20.0 deg	-0.9 mm	-2.2 mm	0.4 mm
44	6.0 deg		-17.0 deg	-1.1 mm	0.4 mm	0.7 mm
45	6.0 deg	-4.0 deg	7.0 deg	-0.5 mm	1.0 mm	0.8 mm
46			5.0 deg	-1.5 mm	1.7 mm	0.7 mm
47			4.0 deg	-1.3 mm	1.7 mm	0.5 mm
48	-	-	-	-	-	-

Figure 44 : tableau récapitulatif des mouvements (source personnelle).



Le contrôle des collisions durant la réalisation du set-up, et avant de valider la simulation numérique, est une étape clé permettant d'étudier les effets des déplacements sur les dents adjacentes et sur l'occlusion.



OrthoAnalyzer® permet également de simuler une réduction inter-proximale. S'il existe une superposition de plus de 0,1 mm entre les dents, celles-ci sont marquées comme nécessitant une réduction inter-proximale manuelle. Il est possible d'indiquer manuellement les valeurs de stripping souhaitées pour chaque dent.



L'outil « mesures 3D et analyse personnalisée » permet d'effectuer les mesures de notre choix. Par exemple, en cas de dent manquante, si l'on souhaite

ouvrir l'espace pour une restauration prothétique, il est possible de mesurer la quantité d'espace mésio-distal disponible et de l'ajuster au besoin.



Une fois le set-up terminé, il est possible de l'exporter vers un dossier sélectionné sous format *STL*.



Enfin, le logiciel offre la possibilité de comparer deux sets de modèles d'un même patient. Cela peut être utile pour superposer le modèle initial au set-up réalisé afin de mettre en évidence les mouvements effectués virtuellement (Figure 45). La superposition peut se faire selon 3 options différentes :

- une surface et un point
- une surface et trois points
- directement trois points.

Il convient alors de définir des structures anatomiques stables permettant la superposition des modèles. De nombreux auteurs ont conclu que les 2/3 médians de la 3^{ème} rugae du palais n'évoluaient pas dans le temps, et ce chez les patients traités orthodontiquement ou non (75–80). Il n'existe pas de structures stables à la mandibule permettant les superpositions. Certaines études se penchent sur l'utilisation des tori mandibulaires chez les patients en possédant ou sur la ligne muco-gingivale considérée comme stable (77,81). Ici, cela ne constitue pas un problème étant donné que les modèles initiaux sont ceux permettant le set-up. Les superpositions sont donc relativement simples.

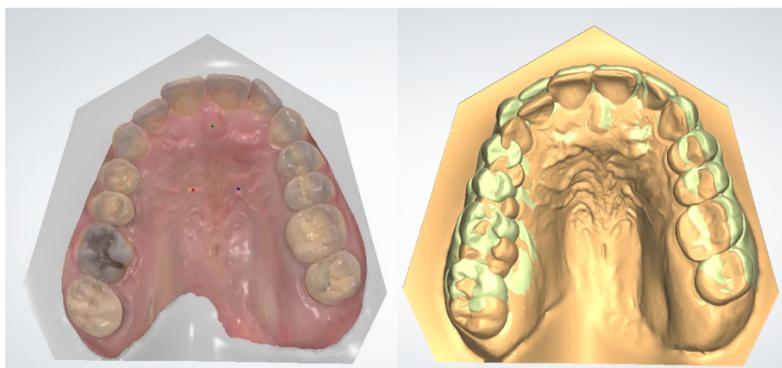


Figure 45 : sélection des 3 points (à gauche), superposition du modèle initial et d'un set-up (à droite) (source personnelle).

Après avoir abordé comment réaliser un set-up numérique, nous allons voir ses différentes applications.

B. Tooth positioner

Une fois le traitement orthodontique par multi-attaches terminé, un set-up est réalisé avec les dernières finitions nécessaires. Un *Tooth Positioner* (Figure 46) est alors fabriqué sur ce set-up, historiquement en plâtre.

Il s'agit d'un appareil en une seule pièce en silicone souple que le patient doit porter après la phase active de traitement afin de parfaire le résultat en 3 à 4 semaines. La résilience du matériau force la dent dans la position déterminée par le set-up ce qui peut modifier la forme d'arcade, les légères rotations ou les positions verticales. Cet appareil permettrait aux dents de se mettre dans la meilleure position possible et de s'engrener les unes par rapport aux autres sans subir les contraintes dues aux brackets et aux arcs. Il peut également servir de guide d'éruption en cas de denture mixte en cours d'établissement ou alors de contention (9,82).



Figure 46 : Tooth Positioner (83).

C. Technique linguale

En 1995, Alain Fontenelle associe pour la première fois ordinateur et dispositif de positionnement des attaches linguales par bras robotisé (84).

Il y a une vingtaine d'années, le Dr Wiechmann apporte du renouveau à la fabrication d'appareils fixes en technique linguale grâce aux avancées numériques. Cette alternative de traitement combine set-up numérique, impression de bracket customisé et pliage d'arcs dans le but de créer un appareil individualisé et personnalisé.

En effet, un set-up virtuel est créé pour simuler le résultat et pour fabriquer les attaches qui s'adaptent le plus précisément possible à l'anatomie linguale des dents (Figure 47, Figure 48, Figure 49). Les arcs sont également individualisés à chaque patient. Cela permet de gagner en précision (notamment en termes de finitions) et de réduire l'inconfort (85,86).



Figure 47 : attaches linguales, système Incognito® (87,88).

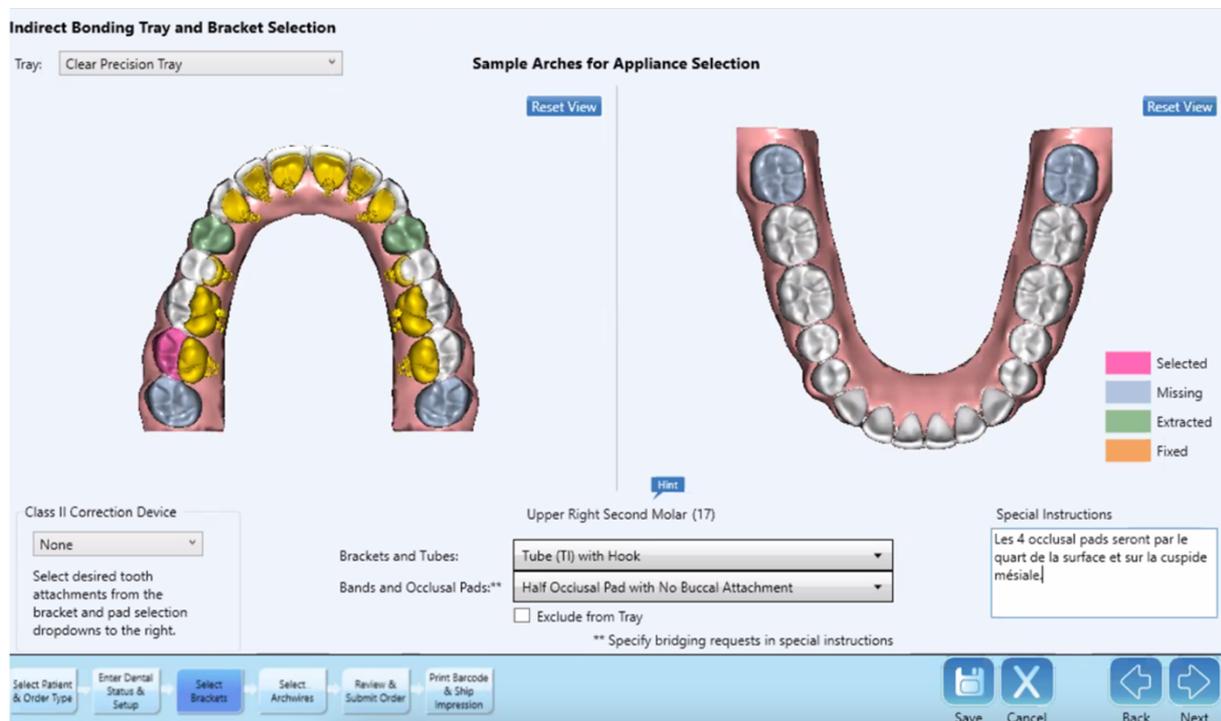


Figure 48 : interface du logiciel TMP Incognito® permettant de réaliser la demande de fabrication des attaches linguales (source personnelle).

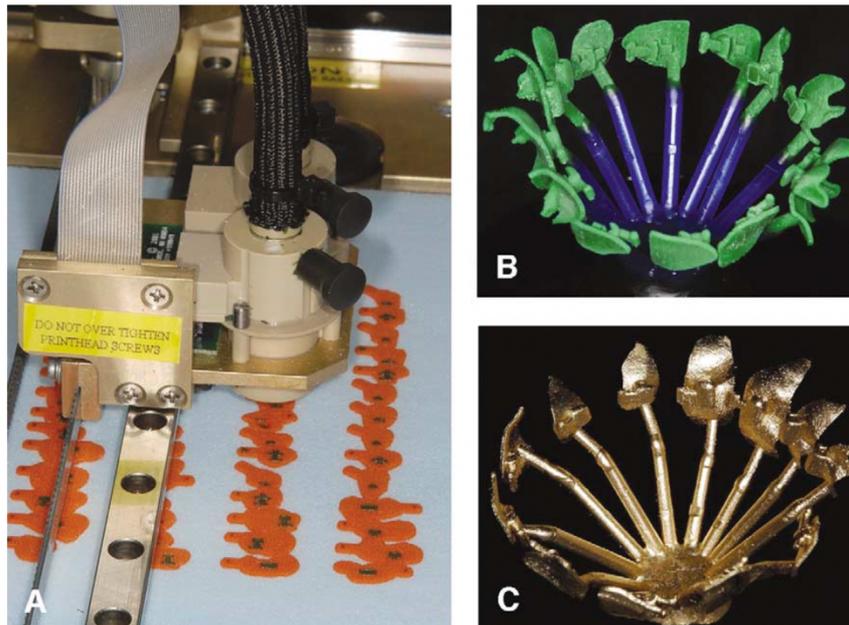


Figure 49 : technique de fabrication des attaches linguales (répliques de brackets sur cire (A et B), brackets coulés en alliage d'or après fonte de la cire (C) (89).

D'après Grauer *et al.* (90), les appareils linguaux individualisés fabriqués à l'aide d'un set-up permettent d'arriver aux buts planifiés sur le set-up initial (précision proche de 1 mm et de 4°).

Pauls *et al.* (91) tirent également les mêmes conclusions.

Cependant, ce concept étant entièrement numérique, il faut garder en tête les coûts de laboratoire importants ainsi que les délais de fabrication longs dont le praticien est dépendant.

D. Système d'aligneurs

Les traitements par gouttières transparentes thermoformées voient le jour avec la société Align Technology durant la fin des années 1990 face à une demande esthétique grandissante. Leader dans les modèles virtuels avec la création d'un set-up (« clin-check ») permettant de simuler le résultat désiré, ils offrent la possibilité de fabriquer des aligneurs sur mesure (concept Invisalign®) depuis des modèles numériques imprimés (85).

Cette technologie utilise les principes CAD/CAM combinés aux techniques de laboratoire conventionnelles permettant de fabriquer un appareil esthétique, amovible, pouvant déplacer les dents du début à la fin du traitement. Pour cela, le praticien prescrit les mouvements désirés via la plateforme du site et la société propose, en retour, un set-up prenant en considération l'occlusion et les relations inter-proximales définies précisément par le praticien initialement.

Par la suite, l'orthodontiste visualise le set-up. Si celui-ci est satisfaisant, le praticien peut alors le valider permettant la mise en production des aligneurs ; si ce n'est pas le cas, il peut le rejeter et demander la réalisation de modifications nécessaires au bon déroulé du traitement (Figure 50).

Le nombre de gouttières dépend de la quantité et de la complexité des mouvements à réaliser (92).

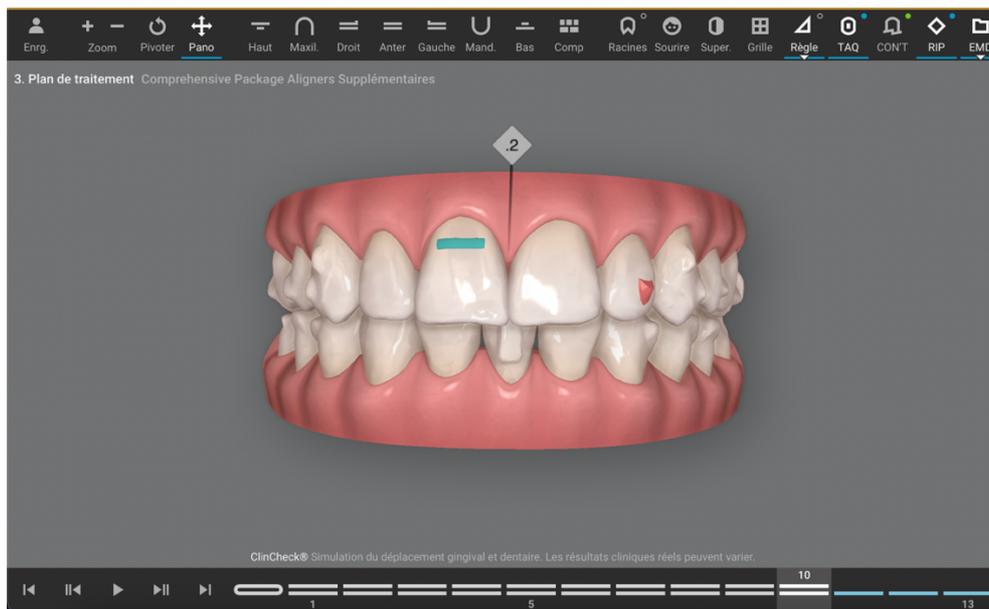


Figure 50 : clin-check proposé par Invisalign® (source personnelle).

Depuis l'essor de ces techniques dites « invisibles », de nombreuses sociétés proposent ce type de thérapeutiques : Ormco avec Spark® ou encore RMO avec Orthocaps®.

E. Appareils multi-attaches individualisés

Avec les techniques d'attaches vestibulaires conventionnelles (système de brackets avec différentes prescriptions de 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} ordres) et d'arc droit, il n'est pas

possible de s'adapter à la forme d'arcade du patient ni d'obtenir des finitions idéales en termes d'occlusion et de contacts inter-proximaux (sans modifier l'arc sorti du sachet).

De ce fait, il est nécessaire que l'orthodontiste effectue des plis de finitions. Cette étape du traitement est très chronophage (temps au fauteuil et durée de traitement augmentés) et requiert une certaine dextérité et expérience du praticien.

Afin de s'affranchir de ces inconvénients, il est possible d'opter pour une technique individualisée telle que SureSmile® ou Insigna® (93).

Ces systèmes utilisent des procédés de design et de conception assistés par ordinateur (*CAD/CAM*). Il est ainsi possible d'obtenir un système de brackets et/ou une séquence d'arcs totalement individualisés qui se basent sur des set-ups issus des modèles initiaux du patient (Figure 51). SureSmile® propose également des arcs de finitions pré-pliés robotiquement grâce à un simple scan des arcades (une fois la phase de nivellement et d'alignement terminée) (Figure 52). Il est aussi possible d'y joindre un CBCT afin de visualiser les axes radiculaires (94).



Figure 51 : système Insigna® - set-up numérique avec placement idéal virtuel de chaque attache (à gauche), collage indirect des brackets individualisés par l'intermédiaire d'une gouttière de transfert (à droite) (95,96).



Figure 52 : système SureSmile® - arc plié robotiquement (94).

D'après Müller-Hartwich *et al.* (93), cette alternative est précise et peut être facilement être implémentée dans un cabinet.

D'après Tarraf *et al.* (85), cela permettrait de réduire le temps de traitement de 35%. C'est également ce que concluent Saxe *et al.* (97), affirmant que le traitement serait plus court d'environ 5 mois par rapport à un traitement fixe conventionnel.

Gracco *et al.* (98) mettent en avant des plans de traitement plus prévisibles, moins laborieux, une communication et une coopération facilitées entre patients et praticiens ainsi qu'une définition tridimensionnelle de la position des dents plus précise (prise en compte des contacts occlusaux et de l'esthétique du sourire).

Cependant, les scores du Board américain sont significativement moindres pour les patients traités par SureSmile® comparés à ceux traités par une technique conventionnelle (97).

F. Set-up et CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

Un des critères de succès du traitement orthodontique est le placement idéal des racines : elles doivent être parallèles entre elles. En effet, cela permet de limiter les risques parodontaux tels que les alvéolyses, les fenestrations, les déhiscences mais aussi de limiter les risques de récives (mouvements dentaires indésirables possibles suite à des contacts occlusaux non idéaux, risques de réouverture d'espaces...) (99).

Une des principales limites du placement des attaches vestibulaires en technique directe est le manque de visibilité de la position radiculaire en trois dimensions. Il est donc plus difficile d'assurer le parallélisme radiculaire en fin de traitement.

La méthode de collage indirect peut aider dans l'amélioration du placement des brackets (précision accrue) mais ne pallie pas le problème de manque de visibilité des racines avec leur environnement (100).

Face aux limites qu'impose la radiographie panoramique 2D (distorsions de l'image à cause de la projection 2D d'une image 3D), de nombreux auteurs ont proposé de superposer un CBCT aux modèles numériques initiaux (Figure 53) (29,101).

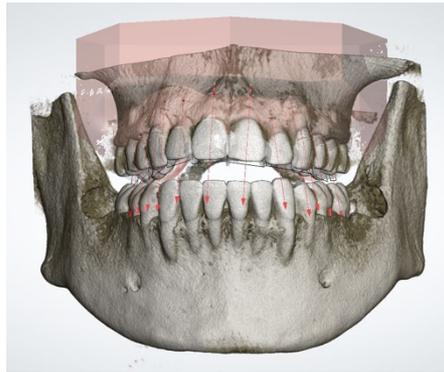


Figure 53 : superposition d'un modèle initial numérique et d'un CBCT (iconographie du Dr Jérémie OHAYON).

Cet inconvénient est également retrouvé dans la réalisation des set-ups. L'impossibilité de visualiser en 3D les racines dentaires (morphologie, direction, os environnant...) induit forcément des imprécisions dans les mouvements simulés (risque de résorptions ou de fenestrations par exemple). Il apparaît donc utile de pouvoir superposer un CBCT à un set-up. Cet ajout des racines au set-up permet alors une meilleure évaluation de l'alignement des couronnes, de l'angulation et de l'inclinaison des dents (102–104).

Il est par exemple possible de visualiser la position des racines des incisives maxillaires par rapport à la corticale palatine pour contrôler les mouvements de rétraction et de torque, l'os disponible au niveau de la tubérosité maxillaire en cas de distalisation à l'arcade maxillaire, la corticale vestibulaire en cas d'expansion, la proximité des racines avec le sinus, l'épaisseur de la crête alvéolaire... (105).

Néanmoins, d'un point de vue éthique, nous sommes soumis au principe de radioprotection *ALARA* (as low as reasonably achievable – aussi bas que raisonnablement possible) (106). Le CBCT, même si les doses sont généralement faibles (entre 87 et 206 μSv), est plus irradiant que la radiographie panoramique (entre 14,2 et 24,3 μSv). Il ne trouve pas, à ce jour, de justification à être réalisé en première intention à la place de l'orthopantomogramme (107).

Aux Etats-Unis, les CBCT initiaux se réalisant de manière plus fréquente qu'en France, certains auteurs (99,101) proposent de réaliser un CBCT pré-traitement et de le superposer au modèle numérique initial puis d'effectuer un set-up *ERP* (expected root position – position radiculaire attendue) comme alternative au monitoring du mouvement radiculaire durant le traitement orthodontique.

III. Comparaison des set-ups conventionnels et numériques

1. Avantages et inconvénients des set-ups

• Avantages des set-ups conventionnels et numériques

Les set-ups conventionnels et numériques partagent de nombreux avantages que nous avons vus précédemment. Néanmoins, chacun présente des atouts spécifiques (Tableau 1).

Set-ups conventionnels	Set-ups numériques (12,74,108)
Possible comparaison physique entre les modèles, ce qui peut être plus pratique lors de la manipulation	Possibilité de fabriquer des moyens thérapeutiques basés sur l'alternative simulée (ex : série d'aligneurs permettant de déplacer graduellement les dents jusqu'à la position finale souhaitée, positionnement virtuel des attaches pour le collage indirect avec possibilité de réaliser des gouttières de transfert sans même imprimer le modèle numérique)
	Possibilité de superposer les modèles initiaux au set-up numérique selon des structures stables de référence (ex : au maxillaire, la 3 ^{ème} rugae)
	Relative facilité d'utilisation des programmes et logiciels permettant de réaliser les set-ups numériques. Le praticien peut le réaliser directement, éliminant les coûts de fabrication par un laboratoire de prothèse
	Reprennent les mêmes avantages que les modèles d'études virtuels : pas de nécessité de stockage physique, communication simplifiée par envoi rapide de fichiers, évite la casse lors du transport ou de la manipulation...
	Augmentation de la précision : les dents ne sont pas individualisées en sciant le plâtre mais avec un processus de segmentation semi-automatique (avec une correction manuelle possible).
	Simplification des repères nécessaires pour la réalisation du set-up : les plans occlusal et vertical servent de référence contrairement au plâtre où la ligne inter-incisive, la position des molaires supérieures et inférieures, le repère de la face vestibulaire de l'incisive la plus vestibuloversée sont nécessaires

	Analyse facilitée : la quantification, l'annulation ou la modification des mouvements effectués lors de la mise en œuvre est simplifiée (il est possible de conserver le set-up initial sans détruire la situation antérieure aux modifications)
	Possibilité de tester plusieurs alternatives thérapeutiques rapidement et de les comparer entre elles afin de statuer sur le meilleur plan de traitement final
	Possibilité de visualiser les racines lors des mouvements simulés lorsque le scan intra-oral est superposé à un CBCT

Tableau 1 : tableau comparant les avantages des set-ups conventionnels et numériques.

• **Inconvénients des set-ups conventionnels et numériques** (Tableau 2)

Set-ups conventionnels (108)	Set-ups numériques (28,109,110)
Chronophage	Présence de collisions entre les dents induisant des mouvements qui peuvent ne pas être réalisables cliniquement si ces collisions ne sont pas prises en compte
Difficulté à dupliquer le modèle initial et le set-up. Cela entraîne des complications à réaliser plusieurs set-ups pour un même patient (temps, coût)	Difficulté de mesure dans les zones de contre-dépouille (ex : en vestibulaire des dents antérieures en cas de torque radiculo-lingual sévère)
Forme d'arcade établie avec un arc façonné par la personne réalisant le set-up. Cela peut engendrer des erreurs en termes de symétrie, respect de la distance inter-canines et inter-molaires...	Restrictions biologiques du patient non prises en compte lors de la réalisation des mouvements sur le logiciel. Par exemple : si une expansion trop importante est réalisée virtuellement, cela peut amener à une instabilité à long terme et à l'apparition de récession parodontale
Risque de fracture du plâtre, détérioration dans le temps	Impossibilité de visualiser les racines (si pas de superposition au CBCT) : on ne peut pas être certain du parallélisme ou encore de leur environnement osseux (possible déhiscence osseuse)
Nécessité d'espace de stockage	
Communication et partage difficiles entre professionnels	

Analyse manuelle du set-up	
Pas de combinaison possible avec un CBCT (<i>Cone Beam Computed Tomography</i>)	

Tableau 2 : tableau comparant les inconvénients des set-ups conventionnels et numériques.

Il est important de noter que le set-up numérique ne doit pas être réalisé de façon artistique pour convaincre le patient d'accepter la solution thérapeutique mais de façon précautionneuse pour refléter les objectifs de traitement ainsi que les limitations de la mécanique orthodontique employée (74).

2. Résultat des comparaisons dans la littérature

La différence majeure entre set-ups conventionnels et numériques est le temps alloué à la fabrication de chacun. En effet, le set-up numérique est bien moins chronophage que le set-up manuel.

Selon Barreto *et al.* (74), le numérique nécessite 2 heures depuis le scan intra-oral jusqu'au set-up final.

Pour Camardella *et al.* (111), le temps d'élaboration d'un set-up conventionnel en plâtre est de 270 minutes alors que celui d'un set-up numérique est de 45 minutes (les temps estimés s'étendent de la segmentation des dents à la finalisation du set-up).

Peu d'études ont été menées pour comparer quantitativement les set-ups numériques et conventionnels. Celles-ci se basent sur une méthode de superposition des set-ups en plâtre scannés numériquement avec les set-ups numériques (111).

Les résultats des recherches menées sur la précision des mesures sur modèles numériques – que nous avons abordés précédemment – indiquent que les set-ups virtuels peuvent être utilisés pour la planification du plan de traitement (28).

Les set-ups conventionnels et numériques ont abouti à des mesures inter- et intra-arcades similaires (109,112).

Barreto *et al.* (74) arrivent à la même conclusion : les set-ups numériques sont fiables et aucune différence n'a été relevée concernant les mesures effectuées sur les set-ups numériques et ceux en plâtre.

Hou *et al.* montrent que les set-ups numériques sont aussi précis que leurs homologues en plâtre (113).

Inversement, Im *et al.* (109) mettent en évidence des différences notables entre les set-ups en plâtre et numériques :

- pour un même patient, le set-up numérique présente une valeur du périmètre d'arcade (Figure 54) plus petite de 2,20 mm au maxillaire par rapport au set-up en plâtre et de 1,30 mm à la mandibule

Cela peut s'expliquer par le fait qu'il soit compliqué de reproduire la surface proximale de la dent réelle sur un modèle numérique initial avec encombrement.

Par conséquent, la section des dents du modèle numérique peut apparaître à

tort comme étant plus petite que la largeur mésio-distale des dents réelles (possibles collisions, ajustement délicats des contacts proximaux et occlusaux)

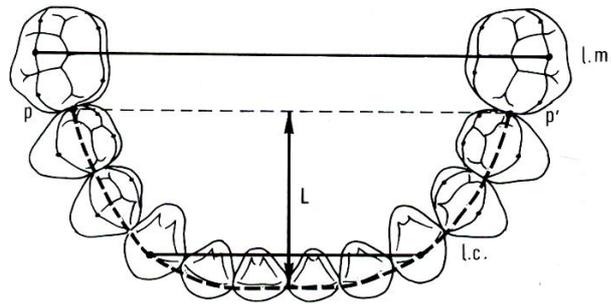


Figure 54 : schéma représentant le périmètre d'arcade (distance pp') (114).

- les set-ups virtuels ont des valeurs de surplomb et de recouvrement significativement plus faibles que les set-ups en plâtre.
- les set-ups numériques ont des tendances à l'angulation mésiale des dents antérieures, à l'inclinaison vestibulaire des dents antérieures maxillaires (les auteurs expliquent cette différence par une tendance à la sur-correction du torque antérieur maxillaire) et à la rotation mésio-linguale des dents mandibulaires.

Camardella *et al.* (108) expliquent que ces différences entre set-ups manuels et numériques sont dues au processus d'élaboration de chacun.

Dans leur étude visant à comparer les set-ups numériques et conventionnels avec les résultats finaux obtenus, des différences significatives ont pu être retrouvées et cela peut s'expliquer par les arguments suivants :

- différents opérateurs élaborent les set-ups
- les résultats orthodontiques finaux sont basés sur l'expérience du praticien
- un même clinicien peut réaliser des set-ups différents en répétant l'opération
- différents logiciels de set-ups peuvent être utilisés
- la réponse au traitement peut être différente selon chaque patient
- il existe des restrictions osseuses et parodontales que le logiciel ne connaît pas
- il peut y avoir un manque de compliance quant au port des auxiliaires durant le traitement (force extra-orale, traction inter-arcades...).

Malgré ces disparités, le set-up numérique est aussi efficace et précis que le set-up conventionnel pour le diagnostic, la planification du traitement orthodontique, la fabrication d'appareils et l'évaluation des résultats de traitement (108).

En effet, même si ces différences sont parfois statistiquement significatives, elles ne le sont pas cliniquement.

3. Mise en place d'une étude visant à évaluer l'apport du set-up numérique dans la planification du plan de traitement

Nous avons abordé la place grandissante qu'occupe le numérique depuis ces trente dernières années dans le domaine de l'orthodontie.

L'introduction des set-ups numériques a permis, entre autres, de simuler plusieurs options thérapeutiques pour un seul et même patient, permettant au praticien de choisir l'option thérapeutique qu'il juge la plus propice.

Néanmoins, dans la littérature, nous ne retrouvons qu'un seul article faisant mention des changements de plan de traitement envisagés après visualisation d'un set-up numérique (113).

Hou *et al.* (113) ont noté un changement de plan de traitement dans 23,6% des cas après visualisation du set-up numérique. Les changements les plus fréquents étaient : l'ajout ou le retrait de réduction inter-proximale, le changement du schéma d'extraction, l'ouverture de l'espace au lieu de la fermeture ou inversement, l'ajout d'ancrage supplémentaire (ancrage osseux temporaire).

De plus, les auteurs décrivent une augmentation du niveau de confiance en leur plan de traitement grâce à la visualisation du set-up numérique associé et cela est corrélé au niveau d'expérience (l'augmentation est plus importante chez les internes que chez les praticiens avec plus de 5 ans d'expérience en cabinet libéral). Cela se remarque encore plus lorsque le cas est difficile.

Ainsi, dans le cadre d'un mémoire de DES, nous avons mené une étude au sein de la sous-section d'Orthopédie Dento-Faciale des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, consistant à évaluer l'intérêt du set-up numérique dans la planification du plan de traitement orthodontique (Annexe 1).

Pour ce faire, plusieurs alternatives thérapeutiques, pour un même patient, ont été simulées par le biais de set-ups numériques. Après leur analyse, il a été demandé aux participants de l'étude s'ils effectuaient des changements de plan de traitement et quels étaient les critères qui les faisaient changer d'avis.

Pour conclure, d'autres études sont nécessaires afin de confirmer l'intérêt du set-up dans l'élaboration d'un plan de traitement orthodontique notamment concernant les cas dits « limites » qui ne font pas consensus.

Conclusions

Une des premières applications du numérique en orthodontie a consisté en l'obtention de modèles d'étude numériques après numérisation des arcades dentaires. Auparavant, les moulages étaient traditionnellement réalisés en plâtre, comportant de nombreux inconvénients. C'est notamment le cas dans la réalisation de set-ups, ou simulations de thérapeutiques, qui pouvaient s'avérer imprécis et très chronophages. L'introduction des moulages numériques a offert de nombreux avantages par rapport au plâtre dont la possibilité de réaliser un set-up numérique.

À ce jour, il n'existe que très peu d'études comparant la précision et l'utilité des set-ups conventionnels et numériques. Néanmoins, il semblerait que dans certaines situations cliniques complexes, le set-up permette au praticien de choisir la thérapeutique la plus adaptée.

En plus de permettre la simulation de plusieurs alternatives de traitement, le set-up offre de nombreuses possibilités thérapeutiques telles que la réalisation d'appareils individualisés, qu'ils soient fixes (ex : multi-attaches vestibulaire ou lingual) ou amovibles (ex : gouttières thermoformées).

Ces simulations virtuelles ne s'arrêtent pas au domaine de l'orthodontie mais touchent également la chirurgie maxillo-faciale avec laquelle nous collaborons pour traiter les cas nécessitant une chirurgie des maxillaires.

Ces technologies numériques pourraient améliorer la qualité des traitements et la facilitation de leur mise en œuvre.

Néanmoins, comme toute nouveauté, le flux numérique comporte également certains écueils avec une place grandissante accordée aux entreprises systématisant le set-up numérique réalisé par des intelligences artificielles. Il convient de rappeler qu'afin de pouvoir implémenter correctement cette technologie, il est indispensable que le set-up numérique soit réalisé, ou au moins contrôlé et modifié, par le praticien orthodontiste. En effet, il est le seul capable de décider si les mouvements virtuels proposés sur l'ordinateur sont réalisables cliniquement, en prenant en compte le moyen thérapeutique mais également les limitations biologiques du patient.



SIGNATURE DES CONCLUSIONS

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

Nom - prénom de l'impétrant : GILLON Flore

Titre de la thèse : Avantages, inconvénients et comparaison des set-ups conventionnels et numériques

Directeurs de thèse : Docteurs Yves BOLENDER et Jeremy OHAYON

VU

Strasbourg, le : 9/5/2023
Le Président du Jury,

Professeur M-C. MANIERE

VU

Strasbourg, le : 16 MAI 2023
Le Doyen de la-Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,

Professeur F. MEYER

Annexes

Annexe 1 : matériel et méthodes

- **Critères de sélection**

Afin d'être inclus dans l'étude, les participants au questionnaire devaient répondre aux critères suivants :

- Être inscrit en 1^{ère}, 2^{ème} ou 3^{ème} année du diplôme d'études spécialisées d'Orthopédie Dento-Faciale (DES ODF)
- Être chirurgien-dentiste spécialiste en Orthopédie Dento-Faciale avec un exercice libéral et/ou hospitalier
- N'avoir aucune connaissance des cas sélectionnés pour la réalisation des set-ups numériques

Les critères de non-inclusion des participants étaient les suivant :

- Ne pas être inscrit dans l'une des trois années du DES ODF
- Être chirurgien-dentiste non spécialiste en Orthopédie Dento-Faciale

Les propositions thérapeutiques des participants faisant appel à la chirurgie maxillo-faciale ou à un appareil fonctionnel ont été exclues.

- **Variables étudiées**

Le **critère de jugement principal** était le changement de plan de traitement initial après visualisation du set-up diagnostique numérique correspondant au plan de traitement envisagé.

Les **critères de jugement secondaires** étaient les suivants :

- Évaluation des critères poussant au changement d'avis concernant le plan de traitement initial après visualisation du set-up

- Comparaison d'un groupe de praticiens expérimentés (praticiens ayant plus de 5 ans d'activité libérale) à des orthodontistes inexpérimentés (internes en DES ODF et praticiens ayant 5 ans ou moins d'activité libérale)

Des données démographiques complémentaires ont été récoltées :

- Le groupe d'appartenance : interne en DES ODF, chirurgien-dentiste spécialiste en ODF
- L'année de cursus pour les internes en DES
- Le nombre d'années d'exercice pour les chirurgiens-dentistes spécialistes en ODF

- **Obtention et choix des cas inclus**

Trois cas ont été retenus parmi un large choix de patients suivis au sein de la sous-section d'Orthopédie Dento-Faciale des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg.

Ils ont fait l'objet d'une attention particulière au vu de leurs caractéristiques cliniques induisant des options thérapeutiques diverses. Ces cas pouvaient faire l'objet de divergences de points de vue concernant les plans de traitement proposés et donc bénéficier de l'intérêt d'un set-up numérique.

Nous avons également évalué leur sévérité à l'aide du *Discrepancy Index* de l'*American Board of Orthodontics* (Annexe 2) (115–120). Il devait être compris entre 10 et 25 ce qui correspond à des cas de sévérité moyenne. Le but étant de sélectionner des cas ni trop simples (où l'intérêt du set-up serait moindre) ni trop compliqués (ce qui ne reflèterait pas la majorité des cas traités, notamment en pratique libérale).

- **Documents fournis aux participants et création du questionnaire**

Les documents fournis aux praticiens participants à cette étude étaient les documents du bilan orthodontique initial (photographies exo- et endo-buccales, orthopantomogramme, téléradiographie de profil, photographies des modèles d'étude numériques) accompagnés du tracé céphalométrique et du calcul de l'indice de Bolton.

Une fois les cas sélectionnés, un questionnaire (Annexe 3) a été conçu afin de faciliter la communication avec les praticiens mais aussi de standardiser leurs réponses. Ils étaient alors guidés dans leur réflexion de plan de traitement afin de nous transmettre le plus précisément possible leurs demandes thérapeutiques. Les praticiens devaient fournir pour chaque cas, au maximum trois propositions thérapeutiques classées de la plus à la moins favorable d'après eux.

- **Envoi des set-ups aux participants**

Une fois les set-ups numériques réalisés pour chacune des propositions thérapeutiques soumises, les vues inter-arcades (frontale, droite, droite $\frac{3}{4}$, gauche, gauche $\frac{3}{4}$), intra-arcade (occlusale maxillaire, occlusale mandibulaire) et arrière étaient fournies.

À cela, s'ajoutait le tableau récapitulatif des mouvements dentaires simulés (Annexe 4).

- **Retour des praticiens sur leurs éventuels changements de plans de traitement**

Après visualisation des set-ups correspondants aux alternatives thérapeutiques souhaitées par les participants, il leur a été demandé, via un nouveau questionnaire (Annexe 5), de choisir le plan de traitement retenu pour chaque cas. Si le plan de traitement sélectionné n'était pas le premier souhaité (c'est-à-dire le plus favorable), il leur a été demandé de décrire succinctement la proposition thérapeutique retenue (en particulier le recours ou non à des extractions, la réduction inter-proximale ou encore les modifications d'ancrage).

Il leur a également été demandé si le set-up numérique leur avait été utile. Si cela était le cas, de cocher parmi une liste quels étaient les éléments les plus utiles dans la planification du plan de traitement.

Ensuite, ils devaient cocher, parmi une liste, les critères qui les ont fait changer d'avis dans le cas où ils ne retenaient pas leur plan de traitement initial après visualisation du set-up.

Enfin, nous souhaitons savoir dans leur pratique courante, dans quelle proportion ils demandaient la réalisation d'un set-up pour les aider à planifier leur traitement et si, après participation à cette étude, ils pensaient demander la réalisation d'un set-up pour un nombre plus important de patient.

Annexe 2 : Discrepancy Index (ABO), fiche d'évaluation

EXAM YEAR _____

ABO DISCREPANCY INDEX

ABO ID # _____

CASE# _____

PATIENT _____

TOTAL D.I. SCORE

*For mm measures, round up to the next full mm.
Examiners will verify measurements in each category.*

OVERJET

- ≥ 0 to < 1 mm (edge-to-edge) = 1 pt
- ≥ 1 to ≤ 3 mm = 0 pts
- > 3 to ≤ 5 mm = 2 pts
- > 5 to ≤ 7 mm = 3 pts
- > 7 to ≤ 9 mm = 4 pts
- > 9 mm = 5 pts
- Negative Overjet (x-bite):
- 1 pt per mm per tooth = ___ pts

Total

OVERBITE

- > 1 to ≤ 3 mm = 0 pts
- > 3 to ≤ 5 mm = 2 pts
- > 5 to ≤ 7 mm = 3 pts
- Impinging (100%) = 5 pts

Total

ANTERIOR OPEN BITE

- 0 mm (edge-to-edge), 1 pt per tooth = ___ pts
- then 1 pt per mm per tooth = ___ pts

Total

LATERAL OPEN BITE

- ≥ 0.5 mm, 2 pts per mm per tooth

Total

CROWDING (only one arch)

- ≥ 0 to ≤ 1 mm = 0 pts
- > 1 to ≤ 3 mm = 1 pts
- > 3 to ≤ 5 mm = 2 pts
- > 5 to ≤ 7 mm = 4 pts
- > 7 mm = 7 pts

Total

OCCLUSAL RELATIONSHIP

- Class I to End On = 0 pts
- End-to-End Class II or III = 2 pts per side ___ pts
- Full Class II or III = 4 pts per side ___ pts
- Beyond Class II or III = 1 pt per mm additional ___ pts

Total

LINGUAL POSTERIOR X-BITE

- > 0 mm, 1 pt per tooth Total

BUCCAL POSTERIOR X-BITE

- > 0 mm, 2 pts per tooth Total

CEPHALOMETRICS (See Instructions)

- ANB ≥ 6° or ≤ -2° @4pts = ___
- Each full degree > 6° ___ x 1 pt = ___
- Each full degree < -2° ___ x 1 pt = ___

SN-MP

- ≥ 38° @2pts = ___
- Each full degree > 38° ___ x 2 pts = ___
- ≤ 26° @1pt = ___
- Each full degree < 26° ___ x 1 pt = ___

I to MP ≥ 99°

- @1pt = ___
- Each full degree > 99° ___ x 1 pt = ___
- Total

OTHER (See Instructions)

- Supernumerary teeth ___ x 1 pt = ___
- Ankylosis of permanent teeth ___ x 2 pts = ___
- Anomalous morphology ___ x 2 pts = ___
- Impaction (except 3rd molars) ___ x 2 pts = ___
- Midline discrepancy (≥3 mm) @ 2 pts = ___
- Missing teeth (except 3rd molars) ___ x 1 pt = ___
- Missing teeth, congenital ___ x 2 pts = ___
- Spacing (4 or more, per arch) ___ x 2 pts = ___
- Spacing (mx cent diastema ≥ 2 mm) @ 2 pts = ___
- Tooth transposition ___ x 2 pts = ___
- Skeletal asymmetry(nonsurgical tx) @ 3 pts = ___
- Addl. treatment complexities ___ x 2 pts = ___

Identify:

Total Other

Annexe 3 : questionnaire de transmission d'un plan de traitement

A partir des documents ci-joints, merci d'élaborer 3 alternatives thérapeutiques (de la plus favorable à la moins favorable selon vous) en remplissant le questionnaire suivant :

Propositions thérapeutiques	1^{ère} alternative thérapeutique (la plus favorable selon vous)			
Types d'appareillage	<input type="checkbox"/> Vestibulaire <input type="checkbox"/> Aligneurs <input type="checkbox"/> Lingual			
Restrictions des mouvements dentaires (ex : bridges, dents ankylosées, implants...)	<input type="checkbox"/> Aucune (déplacer toutes les dents) <input type="checkbox"/> Ne pas déplacer les dents suivantes (entourer les dents à ne pas déplacer)			
	17 16 15 14 13 12 11	21 22 23 24 25 26 27		
	47 46 45 44 43 42 41	31 32 33 34 35 36 37		
Espaces Encombrement	<u>Au maxillaire :</u>		<u>A la mandibule :</u>	
	<i>Espacement :</i> <input type="checkbox"/> Fermer tous les espaces <input type="checkbox"/> Laisser des espaces spécifiques (<i>merci de localiser et quantifier</i>) :		<i>Espacement :</i> <input type="checkbox"/> Fermer tous les espaces <input type="checkbox"/> Laisser des espaces spécifiques (<i>merci de localiser et quantifier</i>) :	
	<i>Résolution de l'encombrement :</i>		<i>Résolution de l'encombrement :</i>	
	<input type="checkbox"/> Expansion : ○ En premier ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Vestibuloversion : ○ En premier ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Réduction inter-proximale (stripping) : ○ En premier (si vous souhaitez établir votre propre charte de stripping, merci de remplir le document joint) ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Extraction(s) : ○ Aucune extraction ○ Extraction(s) (entourer les dents à extraire)		<input type="checkbox"/> Expansion : ○ En premier ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Vestibuloversion : ○ En premier ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Réduction inter-proximale (stripping) : ○ En premier (si vous souhaitez établir votre propre charte de stripping, merci de remplir le document joint) ○ Si nécessaire ○ Aucune <input type="checkbox"/> Extractions : ○ Aucune extraction ○ Extraction(s) (entourer les dents à extraire)	
	17 16 15 14 13 12 11	21 22 23 24 25 26 27	17 16 15 14 13 12 11	21 22 23 24 25 26 27
	47 46 45 44 43 42 41	31 32 33 34 35 36 37	47 46 45 44 43 42 41	31 32 33 34 35 36 37

	<p>En cas d'extraction(s), décrivez la fermeture d'espace souhaitée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maximum d'ancrage postérieur (rétraction antérieure) <input type="checkbox"/> Fermeture réciproque <input type="checkbox"/> Maximum d'ancrage antérieur (protraction postérieure) <p>La fermeture d'espace envisagée nécessite-t-elle l'apport d'un ancrage supplémentaire ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui, nécessité de mise en place d'ancrages osseux (ex : mini-vis, mini-plaques...)
Milieux	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maintenir les milieux d'origine (réduction inter-proximale peut être nécessaire) <input type="checkbox"/> Déplacer le milieu maxillaire : <ul style="list-style-type: none"> o Vers la droite du patient o Vers la gauche du patient <input type="checkbox"/> Déplacer le milieu mandibulaire : <ul style="list-style-type: none"> o Vers la droite du patient o Vers la gauche du patient
Sens vertical	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maintenir le recouvrement d'origine <input type="checkbox"/> Correction de la supraclusion <input type="checkbox"/> Correction de l'infraclusion <input type="checkbox"/> Autre :
Surplomb	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maintenir le surplomb d'origine (une réduction inter-proximale peut s'avérer nécessaire) <input type="checkbox"/> Améliorer le surplomb
Sens sagittal	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maintenir les rapports antéro-postérieurs actuels <input type="checkbox"/> Corriger les relations antéro-postérieures (obtention d'une Classe I canine et molaire) : <ul style="list-style-type: none"> o Traction inter-arcades (élastiques) de Classe II o Traction inter-arcades (élastiques) de Classe III o Extractions (cf. schéma d'extraction rempli précédemment) <input type="checkbox"/> Si vous désirez obtenir une relation de Classe II ou de Classe III molaire thérapeutique, merci de bien vouloir décrire plus précisément l'occlusion souhaitée et le schéma d'extraction envisagé :
Nécessité de mise en place d'autres auxiliaires	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Arc transpalatin <input type="checkbox"/> Arc lingual <input type="checkbox"/> Quadhelix <input type="checkbox"/> Autre :
Demandes spécifiques (ex : extra-torque, mouvements particuliers...)

Charte de réduction inter-proximale (*stripping*)

Merci de bien vouloir renseigner le nombre de millimètres que vous souhaitez :

	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
Mésial																
Distal																
	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
Mésial																
Distal																

Annexe 4 : tableau des mouvements

Torque : le — correspond à du torque radiculo-vestibulaire / le + correspond à du torque radiculo-palatin

Tip : le — correspond à du tip radiculo-mésial / le + correspond à du tip radiculo-distal

Rotation : le — correspond à une rotation méso-palatine ou méso-linguale / le + correspond à une rotation méso-vestibulaire

Avancée/recul : le — correspond à un recul (distalisation) / le + correspond à une avancée (mésialisation)

Avant/arrière :

- En antérieur : le — correspond à de la rétraction / le + correspond à de la protraction
- En postérieur : le — correspond à de l'impansion / le + correspond à de l'expansion

Ingression/égression : le — correspond à de l'égression / le + correspond à de l'ingression

	Torque (en degrés)	Tip (en degrés)	Rotation (en degrés)	Avancée/recul (en millimètres)	Avant/arrière (en millimètres)	Ingression/égression (en millimètres)	Réduction mésiale (en millimètres)	Réduction distale (en millimètres)
17								
16								
15								
14								
13								
12								
11								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
37								
36								
35								
34								
33								
32								
31								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								

Annexe 5 : questionnaire permettant d'évaluer l'apport du set-up dans la planification du plan de traitement

Merci de remplir ce questionnaire après avoir analysé les set-up correspondant à chacune de vos propositions thérapeutiques.

Après avoir analysé les set-up correspondant aux alternatives thérapeutiques proposées, quel plan de traitement choisiriez-vous finalement ?

- 1^{ère} option
- 2^{ème} option
- 3^{ème} option
- Aucune des 3 options proposées

Si vous n'avez finalement pas retenu la 1^{ère} option, merci de décrire succinctement l'option thérapeutique privilégiée.

*Merci d'indiquer les changements thérapeutiques souhaités tels que le recours, ou non, à des **extractions**, à des **réductions inter-proximales** ou à toute **modification d'ancrage**.*

.....
.....

Le set-up vous a-t-il été utile afin de prendre votre décision thérapeutique ?

- Oui, très utile
- Oui, moyennement utile
- Non, peu utile
- Non, aucune utilité

Quels ont été les éléments du set-up les plus utiles dans la planification du plan de traitement ?

- Visualiser la Classe d'Angle molaire et canine
- Prédire l'inclinaison des incisives maxillaires et mandibulaires
- Visualiser la quantité de surplomb et recouvrement final
- Déterminer avec précision la quantité de réduction inter-proximale nécessaire
- Déterminer la nécessité d'extraction(s)
- Visualiser les contacts occlusaux
- La possibilité de superposer le set-up avec le modèle initial
- Autre :

.....

Dans le cas où le set-up vous a fait changer d'avis concernant le plan de traitement le plus favorable, quels étaient les critères qui vous ont fait changer d'avis ?

- La quantité de vestibulo-version des incisives mandibulaires
- La quantité de stripping
- La nécessité d'extraire
- L'importance des mouvements dentaires à réaliser (par exemple dans les cas de fermeture d'espaces)
- La considération de l'ancrage (ex : perte d'ancrage molaire...)
- La quantité de surplomb résiduel
- La quantité de correction sagittale à réaliser à l'aide d'élastiques inter-arcades
- Une considération parodontale (ex : risque de récession parodontale antérieure mandibulaire...)
- Autre :

.....

Dans votre pratique courante, dans quelle proportion demandez-vous la réalisation d'un set-up pour vous aider à planifier votre traitement ? *Merci de répondre en pourcentage*

.....

.....

Après avoir participé à cette étude, pensez-vous demander la réalisation d'un set-up pour un nombre plus important de patient ?

- Oui
- Non

Références bibliographiques

1. Han UK, Vig KWL, Weintraub JA, Vig PS, Kowalski CJ. Consistency of orthodontic treatment decisions relative to diagnostic records. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(3):212-219.
2. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction. *Semin Orthod.* 2004;10(3):226-238.
3. Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A. An Evaluation of the Use of Digital Study Models in Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning. *Angle Orthod.* 2005;75(3):5.
4. Nalcaci R, Kocoglu-Altan AB, Bicakci AA, Ozturk F, Babacan H. A reliable method for evaluating upper molar distalization: Superimposition of three-dimensional digital models. *Korean J Orthod.* 2015;45(2):82.
5. Polido WD. Digital impressions and handling of digital models: The future of Dentistry. *Dental Press J Orthod.* 2010;15(5):18-22
6. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthod.* 2008;35(3):191-201.
7. Tarraf NE, Ali DM. Present and the future of digital orthodontics. *Semin Orthod.* 2018;24(4):376-385.
8. Kesling H. The diagnostic setup with consideration of the third dimension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1956;42:740-748.
9. Kesling H. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1945;31(6):297-304
10. Barreto MS, Faber J, Vogel CJ, Araujo TM. Reliability of digital orthodontic setups. *Angle Orthod.* 2016;86(2):255-259.
11. Motohashi N. A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* 1999;21(3):263-274.
12. Im J, Cha JY, Lee KJ, Yu HS, Hwang CJ. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(4):434-442.
13. Marcel TJ. Three-dimensional on-screen virtual models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;119(6):666-668.
14. Battista G. Face Scanning and Digital Smile Design with an Intraoral Scanner. *J Clin Orthod.* 2019;(3):5.
15. Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 1988;117(6):715-720.
16. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Int Orthod.* 2016;14(2):184-194.
17. 3Shape. Un scanner de laboratoire pour chaque application [En ligne]. <https://www.3shape.com/fr/scanners/e-series>. Consulté le 28 février 2023.
18. Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *IJMT.* 2011;5(1):5-18.

19. Zimmermann M. Intraoral scanning systems – a current overview. *Int J Comp Dent* 2015;18(2): 101-129.
20. Henry Schein. 3Shape Trios Move [En ligne]. <https://www.henryschein-materiel.fr/catalogue/boutique/3shape-trios-move/>. Consulté le 03 mars 2023.
21. Lecocq G. Les caméras intra-orales : choix et intégration au cabinet. *Rev Orthop Dento Faciale*. 2016;50(3):223-228.
22. Abduo J. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018;(26):101-121.
23. Hategan SI, Ionel TF, Goguta L, Gavrilovici A, Negrutiu ML, Jivanescu A. Powder and Powder-Free Intra-Oral Scanners: Digital Impression Accuracy. *Prim Dent J*. 2018;7(2):40-43.
24. Zhermack Dental Magazine. Utilisation de matériaux à base de plâtre en odontologie [En ligne]. <https://magazine.zhermack.com/fr/etude-fr/utilisation-de-materiaux-a-base-de-platre-en-odontologie/>. Consulté le 05 mars 2023.
25. Abizadeh N, Moles DR, O'Neill J, Noar JH. Digital versus plaster study models: How accurate and reproducible are they? *J Orthod*. 2012;39(3):151-159.
26. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003;124(1):101-105.
27. Rudd KD, Morrow RM, Strunk RR. Accurate alginate impressions. *J Prosthet Dent*. 1969;22(3):294-300.
28. González Guzmán JF, Teramoto Ohara A. Evaluation of three-dimensional printed virtual setups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;155(2):288-295.
29. Roger B, Roger JB. Apports de l'impression numérique 3D en ODF. *Rev Orthop Dento Faciale*. 2016;50(3):229-236.
30. Punj A, Bompolaki D, Garaicoa J. Dental Impression Materials and Techniques. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):779-796.
31. Garino F. Comparison of Dental Arch Measurements Between Stone and Digital Casts. *World J Orthod*. 2002;3(3):5.
32. Garino DF. The OrthoCAD intraoral scanner : a six month user report. *J Clin Orthod*. 2011;(3):4.
33. Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HW, Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: Time and patient satisfaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;153(4):534-541.
34. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129(6):794-803.
35. Géraud Cantayre, Karim Nasr. Le Fil Dentaire. Sept caméras d'empreintes optiques intra-orales au banc d'essai [En ligne] <https://www.lefildentaire.com/articles/analyse/materiel/sept-cameras-d-empreintes-optiques-intra-orales-au-banc-d-essai/>. Consulté le 15 février 2023.
36. Bruno Delaunay. Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens-dentistes dans leurs cabinets en 2015. Thèse de chirurgie dentaire. Université de

Lorraine. 2016. 124 p.

37. Christensen GJ. Will Digital Impressions Eliminate the Current Problems With Conventional Impressions? *J Am Dent Assoc.* 2008;139(6):761-763.
38. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: An assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(5):673-682.
39. Zilberman O. Evaluation of the Validity of Tooth Size and Arch Width Measurements Using Conventional and Three-dimensional Virtual Orthodontic Models. *Angle Orthod.* 2003;73(3):6.
40. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(1):16.
41. Grewal B, Lee RT, Zou L, Johal A. Royal London space analysis: plaster versus digital model assessment. *Eur J Orthod.* 2017;39(3):320-325.
42. Halimi A, Benyahia H, Azeroual MF, Bahije L, Zaoui F. Relations entre la divergence faciale et les paramètres de la DDM. *Int Orthod.* 2017;15(4):698-707.
43. Horton HMI, Miller JR, Gaillard PR, Larson BE. Technique Comparison for Efficient Orthodontic Tooth Measurements Using Digital Models. *Angle Orthod.* 2010;80(2):254-261.
44. Quimby ML, Vig KWL, Rashid RG, Firestone AR. The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models. *Angle Orthod.* 2004;74(3):7.
45. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hagg U, Wong RWK, Bendeus M, et al. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Eur J Orthod.* 2010;32(5):589-595.
46. Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod.* 2007;29(5):517-522.
47. Fleming P, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review: Digital models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res.* 2011;14(1):1-16.
48. Sjögren APG, Lindgren JE, Huggare JÅV. Orthodontic Study Cast Analysis—Reproducibility of Recordings and Agreement Between Conventional and 3D Virtual Measurements. *J Digit Imaging.* 2010;23(4):482-492.
49. Reuschl RP, Heuer W, Stiesch M, Wenzel D, Dittmer MP. Reliability and validity of measurements on digital study models and plaster models. *Eur J Orthod.* 2016;38(1):22-26.
50. Smith JR, Gorman JohnC, Kurz C, Dunn RM. Les clés du succès en thérapeutique à attaches linguales. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1986;20(3):369-398.
51. Lee S, Firth FA, Bennani F, Harding W, Farella M, Antoun JS. Evaluation of objective and subjective treatment outcomes in orthodontic cases treated with extraction of a mandibular incisor. *Angle Orthod.* 2019;89(6):862-867.
52. Owen A. Single Lower Incisor Extractions. *J Clin Orthod.* 1993;27(3):153-160
53. Vignesh T, Senthil Kumar K, Tamizharasi S. Mandibular incisor extraction in orthodontics: A systematic review. *J Indian Acad Dent Spec Res.* 2014;1(1):1.
54. Rosa M, Zachrisson BU. Integrating Esthetic Dentistry and Space Closure in Patients

- with Missing Maxillary Lateral Incisors. *J Clin Orthod.* 2001;(4):14.
55. Sandler J, Sira S, Murray A. Photographic 'Kesling set-up'. *J Orthod.* 2005;32(2):85-88.
 56. Charavet C, Bernard JC, Gaillard C, Le Gall M. Benefits of Digital Smile Design (DSD) in the conception of a complex orthodontic treatment plan: A case report-proof of concept. *Int Orthod.* 2019;17(3):573-579.
 57. Barreto FAM, Santos JRR da C. Virtual orthodontic setup in orthodontic camouflage planning for skeletal Class III malocclusion. *Dental Press J Orthod.* 2018;23(2):75-86.
 58. Araújo TM de, Fonseca LM, Caldas LD, Costa-Pinto RA. Preparation and evaluation of orthodontic setup. *Dental Press J Orthod.* 2012;17(3):146-165.
 59. Scuzzo G, Takamoto K, Lombardo L. Orthodontic set-up. New Malden : Quintessence Publishing Compagny ; 2013, 128 p.
 60. Richard R. Les six clés de l'occlusion. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1975;9(4):481-486.
 61. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod.* 1972;62(3):296-309.
 62. Arnold E. Stoller. The normal position of the maxillary first permanent molar. *Am J Orthod.* 1954;40(4):259-271.
 63. Fabels LNJ, Nijkamp PG. Interexaminer and intraexaminer reliabilities of 3-dimensional orthodontic digital setups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(6):806-811.
 64. Bücco, Jules Lemay. Malocclusion Classe I. [En ligne]. <https://www.orthodontisteenligne.com/malocclusion-classe-1>. Consulté le 01 avril 2023.
 65. Conseil dentaire, Albert Hauteville. Courbe de Wilson. [En ligne]. <https://conseildentaire.com/glossary/courbe-de-wilson>. Consulté le 30 mars 2023.
 66. Leroy E. Les modifications des courbes d'occlusion suite à l'usure des prothèses amovibles complètes bi-maxillaires. Thèse de chirurgie dentaire. Université Nice - Sophia Antipolis ; 2014, 41 p.
 67. Sinclair D. Clinical Implications of the University of Washington Post-Retention Studies. *J Clin Orthod.* 2009;(10):7.
 68. Bolender Y. Contention, récidence, long terme des traitements orthodontiques, maturation, vieillissement. [En ligne]. https://moodle.unistra.fr/pluginfile.php/359379/mod_resource/content/1/Contention%20-%202017%20-%20Print.pdf. Consulté le 05 janvier 2023.
 69. Wilson M. A Quick and Easy Diagnostic Setup Technique. *J Clin Orthod.* 1998;32(5):328.
 70. Resnick B. A Simplified Diagnostic Technique. *J Clin Orthod.* 1979;13(2):128-129
 71. Kim SH, Park YG. Easy Wax Setup Technique for Orthodontic Diagnosis. *J Clin Orthod.* 2000;34(3):140.
 72. Wayne A. Bolton. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod.* 1958;28(3):113-130.
 73. 3Shape. Manuel d'utilisateur - Ortho System 2022. [En ligne]. <https://3shape.widen.net/view/pdf/15sbjwxmcev/Ortho-System-2022.1---User-Manual---85.0-H-FR.pdf?t.download=true&u=0vknty>. 2022. Consulté le 6 mars 2023.
 74. Barreto MS, Faber J, Vogel CJ, Araujo TM. Reliability of digital orthodontic setups. *Angle Orthod.* 2016;86(2):255-259.

75. Ganzer N, Feldmann I, Liv P, Bondemark L. A novel method for superimposition and measurements on maxillary digital 3D models - studies on validity and reliability. *Eur J Orthod.* 2018;40(1):45-51.
76. Choi DS, Jeong YM, Jang I, Jost-Brinkmann PG, Cha BK. Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *Angle Orthod.* 2010;80(4):685-691.
77. Vasilakos G, Schilling R, Halazonetis D, Gkantidis N. Assessment of different techniques for 3D superimposition of serial digital maxillary dental casts on palatal structures. *Sci Rep.* 2017;7(1):5838.
78. Bailey L. Stability of the palatal rugae as landmarks for analysis of dental casts in extraction and nonextraction cases. *Angle Orthod.* 1996;66(1):73-78.
79. Chen G, Chen S, Zhang X, Jiang R, Liu Y, Shi F, et al. Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews: Stable region for maxillary dental cast superimposition. *Orthod Craniofac Res.* 2011;14(2):70-79.
80. Garib D, Miranda F, Yatabe MS, Lauris JRP, Massaro C, McNamara JA, et al. Superimposition of maxillary digital models using the palatal rugae: Does ageing affect the reliability? *Orthod Craniofac Res.* 2019;22(3):183-193.
81. Garib D, Miranda F, Massaro C, Lauris JRP, Yatabe MS, Janson G, et al. Three-dimensional mandibular dental changes with aging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159(2):184-192.
82. Kesling H. Coordinated the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. *Am J Orthod Oral Surg.* 1946;32:285-293.
83. Laboratoire Lionet. Appareils thermoformés [En ligne]. <https://www.labolionet.fr/nos-gammes/appareils-thermoformes>. Consulté le 15 avril 2023.
84. Altounian G, Fillion D. Le Targ et son évolution. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1997;31(4):495-511.
85. Tarraf NE, Ali DM. Present and the future of digital orthodontics. *Semin Orthod.* 2018;24(4):376-385.
86. Wiechmann D. A New Bracket System for Lingual Orthodontic Treatment Part 1: Theoretical Background and Development. *J Orofac Orthop.* 2002;63(3):234-245.
87. 3M Science applied to life. 3M Incognito Appliance System [En ligne]. https://www.3m.com/3M/en_US/p/d/b5005051010. Consulté le 15 avril 2023.
88. Marie Medio. Technique linguale : WIN [En ligne]. <https://www.orthodontie-bordeaux.com/nos-techniques/technique-lingual-win>. Consulté le 15 avril 2023.
89. Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, Simon JS, Wiechmann L. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(5):593-599.
90. Grauer D, Proffit WR. Accuracy in tooth positioning with a fully customized lingual orthodontic appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):433-443.
91. Pauls A, Nienkemper M, Schwestka-Polly R, Wiechmann D. Therapeutic accuracy of the completely customized lingual appliance WIN: A retrospective cohort study. *J Orofac Orthop.* 2017;78(1):52-61.
92. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121(5):540-541.

93. Müller-Hartwich R, Jost-Brinkmann PG, Schubert K. Precision of implementing virtual setups for orthodontic treatment using CAD/CAM-fabricated custom archwires. *J Orofac Orthop.* 2016;77(1):1-8.
94. Mah J, Sachdeva R. Computer-assisted orthodontic treatment: The SureSmile process. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;120(1):85-87.
95. Philippe Van Steenverghe. Insignia - Le nouveau standard de traitement en orthodontie fixe [En ligne]. <https://www.orthoteam.be/techniques/insignia>. Consulté le 15 avril 2023.
96. Fabrice Liegeois. Traitement multiattaches [En Ligne]. <https://www.ortholiegeois.be/les-traitements>. Consulté le 16 avril 2023.
97. Alana K. Saxe, Lenore J. Louie, James Mah. Efficiency and Effectiveness of SureSmile. *World J Orthod.* 2010;11(1):16-22.
98. Gracco A, Tracey S. The Insignia System of Customized Orthodontics. *J Clin Orthod.* 2011;45(8):442-451.
99. Lee RJ, Park J, Pi S, Nelson G, Hatcher D, Oberoi S. Accuracy of the Expected Root Position Setup to Monitor Root Angulations and Inclinations during Orthodontic Treatment: A Pilot Study. *J Indian Orthod Soc.* 2018;52(1):44-50.
100. Guo H, Zhou J, Bai Y, Li S. A Three-Dimensional Setup Model with Dental Roots. *J Clin Orthod.* 2011;45(4):209-216.
101. Lee RJ, Weissheimer A, Pham J, Go L, de Menezes LM, Redmond WR, et al. Three-dimensional monitoring of root movement during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(1):132-142.
102. Baan F, de Waard O, Bruggink R, Xi T, Ongkosuwito EM, Maal TJJ. Virtual setup in orthodontics: planning and evaluation. *Clin Oral Invest.* 2020;24(7):2385-2393.
103. Kihara T, Tanimoto K, Michida M, Yoshimi Y, Nagasaki T, Murayama T, et al. Construction of orthodontic setup models on a computer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(6):806-813.
104. Lee RJ, Pham J, Weissheimer A, Tong H. Generating an Ideal Virtual Setup with Three-Dimensional Crowns and Roots. *J Clin Orthod.* 2015;49(11):696.
105. Macchi A, Carrafiello G, Cacciafesta V, Norcini A. Three-dimensional digital modeling and setup. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(5):605-610.
106. Lurie AG, Kantor ML. Contemporary radiation protection in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 2020;151(10):716-719.
107. Kapila S, Conley RS, Harrell WE. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(1):24-34.
108. Camardella LT, Rothier EKC, Vilella OV, Ongkosuwito EM, Breuning KH. Virtual setup: application in orthodontic practice. *J Orofac Orthop.* 2016;77(6):409-419.
109. Im J, Cha JY, Lee KJ, Yu HS, Hwang CJ. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(4):434-442.
110. Motohashi N. A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* 1999;21(3):263-274.
111. Camardella LT, Vilella OV, Breuning KH, de Assis Ribeiro Carvalho F, Kuijpers-

- Jagtman AM, Ongkosuwito EM. The influence of the model superimposition method on the assessment of accuracy and predictability of setup models. *J Orofac Orthop.* 2021;82(3):175-186.
112. Nalcaci R, Kocoglu-Altan AB, Bicakci AA, Ozturk F, Babacan H. A reliable method for evaluating upper molar distalization: Superimposition of three-dimensional digital models. *Korean J Orthod.* 2015;45(2):82.
113. Hou D, Capote R, Bayirli B, Chan DCN, Huang G. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(4):542-549.
114. Le club dentaire. Indices et mesures en ODF. [En Ligne]. <https://csd23.blogspot.com/2010/10/indices-et-mesures-en-odf.html>. Consulté le 15 avril 2023.
115. Lieber WS, Carlson SK, Baumrind S, Poulton DR. Clinical Use of the ABO-Scoring Index: Reliability and Subtraction Frequency. *Angle Orthod.* 2003;73(5):556-564.
116. Pyakurel U, Thapaliya KB, Gupta S, Gupta A, Dhakal J. Assessment of clinical cases using ABO discrepancy index. *Orthod J Nepal.* 2018;8(2):17-21.
117. Okunami TR, Kusnoto B, BeGole E, Evans CA, Sadowsky C, Fadavi S. Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: Digital vs plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(1):51-56.
118. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, et al. The ABO discrepancy index: a measure of case complexity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125(3):270-278.
119. American Board of Orthodontics. ABO Discrepancy Index. [En Ligne]. https://www.americanboardortho.com/media/1189/discrepancy_index_scoring_system.pdf. Consulté le 16 avril 2023.
120. Riolo ML, Owens SE, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, Greco PM, et al. ABO resident clinical outcomes study: Case complexity as measured by the discrepancy index. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(2):161-163.

GILLON (Flore) – Avantages, inconvénients et comparaison des set-ups conventionnels et numériques

(Thèse : 3^{ème} cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2023 ; N°37)

N°43.22.23.37

Résumé :

L'introduction du numérique en orthodontie a vu le jour dans les années 1980 avec l'utilisation du scanner intra-oral permettant l'acquisition d'empreintes numériques et l'obtention de modèles d'étude virtuels. Cela présente de nombreux avantages tels que la facilité de stockage et de récupération des données ou encore une communication plus aisée avec le patient et entre praticiens. De ces empreintes numériques découle la possibilité de réaliser un set-up, ou simulation de la thérapeutique, numérique. Longtemps élaboré en plâtre, procédé introduit par Harold Kesling en 1945, il est désormais possible de le réaliser virtuellement à l'aide d'outils numériques moins chronophages. Cette technique permet de prévisualiser le résultat post-traitement orthodontique en simulant l'option thérapeutique retenue pour un patient donné. Le set-up est alors perçu comme une aide au diagnostic, utile notamment face à des cas dits « limites » face auxquels le praticien hésite entre différentes options thérapeutiques (traitement avec ou sans avulsions, considérations d'ancrage, quantité de stripping...). Le set-up, permettant de simuler une ou plusieurs thérapeutiques, aiderait le praticien à trancher entre les différentes options et à s'assurer de leur faisabilité. Cela trouve toute son importance également dans les cas pluridisciplinaires lorsqu'une communication entre professionnels est nécessaire à la réussite du traitement.

Ainsi, le but de ce travail de thèse est d'étudier les avantages et inconvénients des différents types de set-ups (conventionnels et numériques) et de les comparer entre eux.

Rubrique de classement : orthodontie

Mots clés : set-up ; numérique ; planification ; simulation ; orthodontie

Me SH : set-up ; digital ; planning ; simulation ; orthodontics

Jury :

Président : Professeur MANIERE Marie-Cécile

Assesseurs : Docteur BOLENDER Yves

Docteur WAGNER Delphine

Docteur MONSONEGO Shyrel

Membre invité : Docteur OHAYON Jérémy

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :

Flore GILLON

32 Grand'Rue

67000 Strasbourg

Adresse de messagerie :

flore.gillon@gmail.com