

*PEOPLE's Democratic Republic of Algeria*  
*Ministry of Higher Education and Scientific Research*  
*University of Saad Dahlab Blida 1*  
*Faculty of Medicine El Mahdi Si Ahmed*  
*Dentistry Medicine Department*



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du  
titre de Docteur en Médecine Dentaire**

**Intitulé**

**L'ORTHODONTIE NUMÉRIQUE ;  
VERS DES NOUVELLES PERSPECTIVES**

**Présenté et soutenu publiquement**

**03/07/2023**

- ❖ KORRI MOHAD Naima
- ❖ HAMDANI Farah.
- ❖ HADJI Hayam.
- ❖ ARAB Razika.
- ❖ TOUAFRI Yousra.

jury composé de:

**Président : Pr DAHMAS**

**Examineur : Dr ATROUCHE**

**Promoteur : Dr KHEROUA**

## **REMERCIEMENTS**

*Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

**A nos Président de jury, Monsieur le professeur Dahmas**

*Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de thèse, votre disponibilité a su marquer toutes ces années d'études au cours desquelles nous avons pu, avec tous mes camarades, bénéficier de la richesse de vos enseignements en orthodontie.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de tout notre respect et de notre profonde estime.*

*Nous voudrions adresser toute notre gratitude à notre encadreur **Docteur kheroua**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions également le Professeur **Meddah** chef service, ainsi que tous nos professeurs qui nous ont enseigné durant nos études à la faculté de médecine dentaire de Blida.*

*Nos plus profonds remerciements vont à nos parents qui tout au long de notre cursus, ils nous ont toujours soutenu, encouragé et aidé. Ils ont su nous donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de notre plus affectueuse gratitude. Sans oublier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer cet ouvrage.*

## Sommaire:

<b>table des figures.....</b>	<b>5</b>
<b>Abréviation .....</b>	<b>8</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Généralités et rappel :.....</b>	<b>10</b>
1.1. Le stockage et la création des dossiers : .....	10
1.2. Les empreintes conventionnelles : .....	10
1.3. Les moulages orthodontiques conventionnels : .....	11
1.4. L'analyse céphalométrique : .....	12
1.5. Les appareillages conventionnels : .....	13
1.6. Le set-up traditionnel : .....	13
<b>2. Le numérique au service de la médecine dentaire :.....</b>	<b>13</b>
2.1. Recherche d'un cabinet et prise de rendez-vous : .....	14
2.1.1. Prise de rendez-vous en ligne : .....	14
2.1.2. Rappels de rendez-vous automatisés : .....	14
2.2. La création et le stockage numérisé des dossiers : .....	14
2.3. Aide à la communication : .....	14
<b>3. L'Apport du numérique en matière de diagnostic orthodontique :.....</b>	<b>15</b>
3.1. L'imagerie numérique : .....	15
3.1.1. Photographie numérique : .....	15
3.1.2. La panoramique : .....	17
3.1.3. La téléradiographie : .....	17
3.1.4. Tomodensitométrie:.....	18
3.1.5. CONE BEAM : .....	19
3.2. L'analyse céphalométrique : .....	19
3.2.1. Quelques exemples des logiciels pour l'analyse céphalométrique:.....	20
3.2.1.1. Delaire Céphalométrie : .....	20
3.2.1.2. Procuste:.....	20
3.2.1.3. Romexis® Cephalometric Analysis : .....	21
3.2.1.4. Logiciel cephio : .....	21
3.3. L'empreinte optique en orthodontie : .....	21
3.3.1. Les avantages pour le patient:.....	22
3.4. Numérisation des modèles et des empreintes : .....	22
3.4.1. Numérisation indirecte:.....	22
3.4.1.1. Installation du logiciel:.....	23
3.4.1.2. La prise d'empreinte : .....	23
3.4.1.3. La numérisation des modèles : .....	23
3.4.1.4. Envoi des modèles numérisés au praticien:.....	23
3.4.1.4.1. Technique dite "non destructive":.....	23
3.4.1.4.2. Technique dite "destructive":.....	23
3.4.2. Numérisation directe:.....	23
3.4.2.1. Numérisation des arcades en bouche:.....	23
3.4.2.1.1. La technique Suresmile:.....	23
3.4.2.2. Numérisation des moulages au cabinet:.....	24
3.5. La visualisation des objectifs de traitement : .....	24
3.6. La superposition tridimensionnelle:.....	25
<b>4. L'apport des techniques numériques en matière thérapeutique :.....</b>	<b>27</b>
4.1. La simulation de traitement orthodontique : le set-up virtuel : .....	27
4.1.1. La fiabilité de Set-Up : .....	29
4.1.2. Réalisation de Set-Up : .....	29
4.1.3. Les autres fonctions possibles : .....	30
4.1.4. Les limites et l'évaluation des set-ups numériques : .....	30
4.2. Digital smile design esthétique et correction de sourire en orthodontie:.....	31

4.2.1. Intérêt :	31
4.2.2. Principe :	32
4.2.2.1. Les lignes et les points de référence:	32
4.2.2.1.1. Les références horizontales:	32
4.2.2.1.2. Les Références verticales:	32
4.2.2.2. Analyse dento-labiale:	33
4.2.2.2.1. Exposition des dents en dynamique:	33
4.2.2.2.2. La courbe incisive :	33
4.2.2.2.3. Le profil incisif :	34
4.2.2.2.4. La ligne du sourire :	34
4.2.2.2.5. Le corridor buccal :	34
4.2.2.3. Les dimensions :	34
4.2.2.3.1. Le nombre d'or :	34
4.2.2.3.2. RED proportion :	35
4.2.2.4. La forme des dents :	36
4.2.2.5. Analyse gingivale :	36
4.2.3. Description du protocole DSD dans le plan frontal :	37
4.2.3.1. Discussion et limites du DSD :	40
4.3. CFAO appareil orthodontique :	41
4.3.1. Définition et généralité :	41
4.3.2. la Composition de CFAO:	41
4.3.3. Les techniques de la CFAO:	41
4.3.3.1. La technique directe:	42
4.3.3.2. La technique semi directe:	42
4.3.3.3. La technique indirecte:	42
4.3.4. La conception assistée par ordinateur (CAO) :	42
4.3.5. La fabrication assistée par ordinateur (FAO):	43
4.3.5.1. Les techniques de fabrication:	44
4.3.5.1.1. La fabrication par technique additive:	44
4.3.5.1.1.1. L'impression 3D :	44
4.3.5.1.1.2. La stéréolithographie :	44
4.3.5.1.1.3. La micro-fusion de poudre ou frittage laser:	45
4.3.5.1.2. La fabrication par technique soustractive ou usinage :	45
4.4 CFAO les brackets :	46
4.4.1. Principe:	46
4.4.2. Avantage :	47
4.4.3. Collage indirect:	47
4.4.4. Planification du positionnement des attaches orthodontiques:	48
4.4.4.1. Positionnement sur un modèle physique:	48
4.4.4.2. Positionnement virtuel sur un logiciel informatique:	48
4.4.4.2.1. Positionnement virtuel sur un logiciel avec intervention d'un laboratoire extérieur :	48
4.4.4.2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel par l'orthodontiste:	49
4.4.4.3. Systèmes de transfert:	49
4.4.5. Les limites de numérisation des brackets:	51
4.4.5.1. Les limites biologiques :	51
4.4.5.2. Les limites de reconstitution :	51
4.4.5.3. les limites financières:	51
4.4.5.4. Le stockage en cabinet :	51
4.5. Gouttières transparentes orthodontiques:	52
4.5.1. Rappel Historique:	52
4.5.2. Définition d'un aligneur Orthodontique :	53
4.5.3. Align Technology :	53
4.5.4. Le Système invisalign :	53
4.5.5. Le logiciel ClinCheck:	55

4.5.6. Les avantages :	56
4.5.7. Les inconvénients :	57
4.5.8. Les gouttières chirurgicales numérisées:	58
4.5.8.1. Définition:	58
4.5.8.2. La confection des gouttières chirurgicales :	58
4.5.8.3. Les avantages et Les inconvénients :	59
4.6. L'orthodontie linguale et l'orthodontie vestibulaire :	60
4.6.1. Généralité :	60
4.6.2. Le Système Lingual Incognito:	61
4.6.2.1. Description :	61
4.6.2.2. Le Protocol:	62
4.6.3. Les avantages:	66
4.6.4. Les inconvénients:	66
4.6.5. Les indications:	66
4.7. les techniques en chirurgie maxillo-faciale:	66
<b>5. Les nouvelles technologies en orthodontie numérique :</b>	<b>69</b>
5.1. L'intelligence artificielle:	69
5.2. La réalité virtuelle :	70
5.3. La réalité augmentée:	70
<b>6. Les avantages du numérique :</b>	<b>71</b>
6.1. De travailler mieux et plus vite :	71
6.2. Une meilleure expérience et confort du patient :	71
6.3. Une communication efficace avec les patients et les laboratoires:	71
6.4. Un diagnostic plus efficace et plus sûr des problèmes buccodentaires:	71
6.5. La superposition et la comparaison des données numérisées:	71
6.6. L'écologie:	72
<b>7. Les limites du numérique:</b>	<b>72</b>
7.1. Le coût:	72
7.2. L'adaptation au numérique:	72
7.3. L'ergonomie:	72
7.4. Les pannes:	72
<b>Conclusion</b>	<b>72</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>73</b>
<b>Résumé</b>	<b>79</b>

## **TABLE DES FIGURES :**

nombre	titre	page
1	le stockage des dossiers	10
2	Empreinte en silicon	10
3	Le tracé parallèle au plan d'occlusion	11
4	Taille du socle du modèle inferieur	11
5	Taille des parties postérieures	11
6	Taille des parties latérale	11
7	Taille en arrondi la partie antérieure	11
8	Taille des angles postérieurs	11
9	Taille de la partie supérieure	12
10	Taille de la partie supérieure	12
11	Taille de la partie antérieure	12
12	Modèle taillé et fini	12
13	l'analyse céphalométrique	12
14	:Set.up conventionnel	13
15	Mailiz la messagerie sécurisée	14
16	Odaiji logiciel des dossiers médicaux	15
17	les clichés intrabuccaux et exobuccal du patient	16
18	la prise d'une téléradiographie	17
19	la tomodensitométrie volumique à faisceau conique.	18
20	Cone Beam Computed Tomography	19
21	le logiciel de céphalométrie de Delaire	20
22	Romexis Cephalometric Analysis	20
23	Logiciel Cephio.	21
24	Caméra d'empreinte optique.	22
25	Tableau des mouvements dentaires	24
26	Un set up numérique	25
27	Une superposition tridimensionnelle	26
28	exemple de l'utilisation des taquets (en rouge) pour des traitements par aligneurs.	27
29	positionnement virtuel d'attaches et de fils individualisés à l'aide du logiciel Insignia Approver.	27
30	projet thérapeutique sur Set.Up numérique Insignia Approver, avec l'état initial, l'état final, et la superposition des deux images.	28

31	vue clinique occlusale de l'état initial.	28
32	vue clinique occlusale en cours de traitement	28
33	positionnement des brackets (logiciel 3shape)	30
34	projet thérapeutique avec expansion transversale importante, dépassant les capacités d'adaptation de la patiente, état clinique initial	30
35	projet thérapeutique avec superposition de l'état initial (en bleu) et final	30
36	état final, avec une mauvaise réponse biologique à la mécanique orthodontique	30
37	fermeture d'espaces au maxillaire,	30
38	Analyse du visage de face	32
39	Exposition des dents en dynamique	33
40	Situation de la courbe incisive et son rapport avec la lèvre inférieure	33
41	Situation de la ligne du sourire	33
42	Évaluation du corridor labial	34
43	Illustration de la règle du nombre d'or appliquée à l'art dentaire	35
44	Formes des dents de base en relation avec les quatre tempéraments	36
45	Situation idéale des collets, des papilles et des zéniths gingivaux	36
46	Arc facial numérique	37
47	La grille de proportion	37
48	Analyse du sourire	38
49	Transfert des références esthétiques	38
50	Échelle intra orale	38
51	Proportion des dents	38
52	Forme des dents et ligne gingivale	39
53	Calibrage de la règle numérique	39
54	DSD en vue occlusale	39
55	les 3 type de CFAO	41
56	Détermination de l'axe d'insertion	42
57	Suppression des excès de cire de comblement (3Shape Dental System, Dental Concept Méditerranée)	42
58	conception de disjoncteur ( laboratoire lionet	43
59	La conception d'arc palatin(laboratoire lionet)	43
60	enveloppe lingual nocturne (laboratoire lionet )	43
61	technique d'impression 3D	44
62	technique stéréolithographie	44
63	technique de frittage au laser	45
64	piste de planas cfao (laboratoire lionet	45
65	disjoncteur cfao	45

66	Bielles de herbst sur gouttier cfao	45
67	quadhelix , disjoncteur ;arc palatin ; bague molaire cfao	45
68	Capture d'écran du logiciel Insignia® Approver – Set.up reconstituant la future position des attaches et des arcs individualisés ainsi que les informations de torque prévues pour chaque dent .	46
69	capture d'écran découpée Conception assistée par ordinateur des bagues personnalisées imprimées : étape de choix de l'axe des tubes (Orthomoov, Eguilles, France	47
70	Encoches de positionnement des attaches sur le logiciel Appliance Designer ® qui vont être imprimées sur modèle physique	49
71	groupe de jigs de transfert Insignia	50
72	Capture d'écran d'un cone beam (logiciel Horos®) – Capture d'écran de la reconstitution des racines à l'aide du même cone beam et d'une empreinte optique (logiciel Insignia®)	51
73	une gouttière de contention Biostar.	52
74	Une gouttière de contention Essix	52
75	Un aligneur orthodontique	53
76	Gouttière invisalign portée	54
77	Logiciel Clin Check	55
78	Cas clinique DDM traitée par l'invisalign	56
79	Construction virtuelle des gouttières chirurgicales impression 3d des gouttières chirurgicales	59
80	L'orthodontie linguale et vestibulaire	59
81	Appareil orthodontie linguale	60
82	système incognito	60
83	Des attaches d'or	61
84	Incognito/broches invisibles/ orthodontiste.	61
85	Fil en ribbon wise	62
86	Fil en edgewise	62
87	L'empreinte en silicon	62
88	Réalisation de set.up	63
89	Réalisation des attaches en cire avec le rapide prototyping	63
90	Préparation à la coulée et résultat après coulée	63
91	Contrôle dimensionnel de chaque attache	63
92	Positionnement de attaches sur le modèle de travail	64
93	Gouttière de transfert	64
94	Produit de collage	64
95	Choix des attaches	65
96	Superposition des modèles	65
97	Simulation de rendu chirurgicale	67
98	Protocol d'analyse l'imagerie 3D utilisée pour la simulation chirurgicale virtuelle	67



99	Chirurgie guidée	68
100	Ostéotomie de chin winge	68
101	Ostéotomie de chin winge modifiée	69
102	la réalité virtuelle pour la consultation dentaire	70
103	logiciel de réalité augmentée développé par la société suisse kaplo	70

**Abréviation:**

2D : 2 dimension

3D : 3 dimension

ABO: American Board Orthodontist

ATM:articulation temporo mandibulaire

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

CD ROM : compact disc . read only memory

CFAO : Conception et fabrication Assistée par Ordinateur

DSD: digital smile design

EMR: expansion maxillaire rapide

FAO: fabrication Assistée par Ordinateur

IRM :imagerie de résonance magnétique

LCD: Liquid Crystal Display

Odf : orthopédie dento facial

OVT: La visualisation des objectifs de traitement

IA : intelligence artificiel

Papim : La prothèse amovible partielle à infrastructure métallique

PM : prémolaire

Red : Recurring Esthetic Dental (proportion dentaire esthétique récurrente)

SAHOS : un syndrome d'apnées hypopnées obstructives du sommeil

Set up : (anglais) installer

TVFC: tomодensitométrie volumique à faisceau conique

## **Introduction:**

L'orthodontie, ou odf, est la spécialité médicale qui se concentre sur la correction des anomalies des dents et/ou des mâchoires pour prévenir les troubles fonctionnels et esthétiques qui peuvent en résulter.<sup>1</sup>

Avec les Smartphones, les tablettes et les objets connectés, le numérique est présent dans tous les aspects de notre vie, simplifiant les démarches, rapprochant les familles éloignées et aidant à l'auto-guérison.

Depuis l'émergence de la photographie numérique, l'ODF numérique s'est développé avec l'avancée de l'informatique est devenu un nouveau support d'évaluation diagnostique. Ensuite, la montée en puissance des ordinateurs et l'enrichissement des logiciels odf ont permis de calculer, construire et afficher des solutions de traitement à l'aide de techniques numériques<sup>2</sup>.

L'intégration des technologies numériques dans le domaine de l'orthodontie joue un rôle majeur. Les outils et les technologies numériques sont utilisés dans la gestion des cabinets (CHU), le diagnostic et la planification des traitements...

Dans ce mémoire, nous aborderons d'abord les facilités offertes pour les services dentaires, telles que la création des dossiers, la réalisation des RDV et la communication entre l'orthodontiste et le patient. Nous présenterons ensuite les nouveaux apports numériques en termes de diagnostic céphalométrique et les données d'acquisition 3D (CBCT, scanner Denta, tomographie) ainsi que les superpositions 3D, tout en abordant l'évaluation des empreintes et leur numérisation à l'aide des scanners et des logiciels appropriés d'analyse et d'exploitation. et également dans le traitement orthodontique et chirurgical; le set-up virtuel et sa mise en œuvre, l'utilisation du DSD dans la correction du sourire qui contribue également à rétablir l'esthétique faciale, ainsi que la confection des arcs et brackets individuelle et des appareils orthodontiques à partir du CFAO, les techniques d'attaches linguales numérique et les techniques en chirurgie maxillo faciale. Enfin, nous terminerons par les avantages et les limites du numérique, ainsi que l'intelligence artificielle.

L'objectif de ce mémoire est de mettre la lumière sur les différentes techniques numériques dans l'orthodontie dento faciale.

## 1. Généralités et rappel :

L'avènement du numérique a innové les actes quotidiennes de l'orthodontiste qui a été basé sur des technique conventionnelles, parmi eux nous citons :

### 1.1. Le stockage et la création des dossiers :

Dans la conception du cabinet dentaire, il existe toujours un endroit dédié pour stocker et conserver tout ce qui est du papier comme les dossiers et les clichés radiographiques (fig 1). Cet endroit de stockage prend beaucoup d'espace, même beaucoup de temps quand on veut chercher un fichier, ainsi que la possibilité de perdre les fichiers.



*Figure 1 : le stockage des dossiers* <sup>3</sup>

### 1.2. Les empreintes conventionnelles :

La réalisation d'empreinte est un maillon de la chaîne d'acte dentaire effectuée au cabinet dentaire. La prise d'empreinte conventionnelle réalisée à l'alginat si la coulée peut intervenir rapidement ou à défaut à la silicone (fig 2) qui permet de différer la coulée sans trop de déformations.

La première étape consiste à choisir un porte empreinte de taille adapté qui sera essayée en bouche vide, ensuite l'alginat est malaxé dans les proportions requises grâce aux mesures d'eau et de poudre, charger le porte empreinte avec le reste du matériau. Puis le porte empreinte est inséré en bouche avec un mouvement vertical légèrement incliné de postérieur en antérieur.

Les joues et lèvres sont délicatement massées pour mieux répartir le matériau et le patient tire la langue pour l'empreinte mandibulaire. Au terme du temps de prise recommandé par le fabricant, l'empreinte est désinsérée, rincée, examinée puis décontaminée. L'empreinte sera ensuite soit coulée au cabinet soit expédiée au laboratoire d'ODF. <sup>4</sup>



*Figure 2 : Empreinte en silicon* <sup>5</sup>

### 1.3. Les moulages orthodontiques conventionnels :

Les moulages font partie du dossier clinique du patient lors de sa prise en charge orthodontique, qui sont obtenus à partir des empreintes coulées en plâtre. Il existe trois types de moulages: ceux de début de traitement, ceux au cours du traitement, et ceux de fin de traitement.

#### Taille des moulages :

Les moulages sont taillés par un taille plâtre équipé d'un angulateur et deux meules (à gros grains et à grains fins). On commence par la taille des moulage inférieur en respectant les phases suivantes :

- Le modèle est déposé à l'envers sur la paillasse, de manière à ce que tous les dents puissent la toucher, et une parallèle au plan d'occlusion est tracée au crayon à 35 mm de celui-ci (fig 3).
- La partie qui dépasse cette ligne et taillée au moyen de la grosse meule du taille plâtre . Le modèle est maintenu par une réglette coulissante (fig 4).
- La partie postérieure de socle est taillée perpendiculairement au plan sagittale médian jusqu'à 0.5 à 1 mm 1 mm en arrière de la dernière molaire ( fig 5).
- Les parties latérales sont taillées en faisant un angle de 65° par rapport à la limite postérieure du modèle (fig 6).
- L'arrondi de la partie antérieure est ensuite taillé de canine à canine.( fig 7) enfin, les angles postérieurs sont taillés suivant un plan de coupe qui forme avec la limite postérieure un angle de 130 à 135°



Figure 3 : Le tracé parallèle au plan d'occlusion<sup>6</sup>



Figure 4 : Taille du socle du modèle inférieur<sup>6</sup>



Figure 5 : Taille des parties postérieures<sup>6</sup>



Figure 6 : Taille des parties latérale<sup>6</sup>



Figure 7 :Taillé en arrondi la partie antérieure<sup>6</sup>



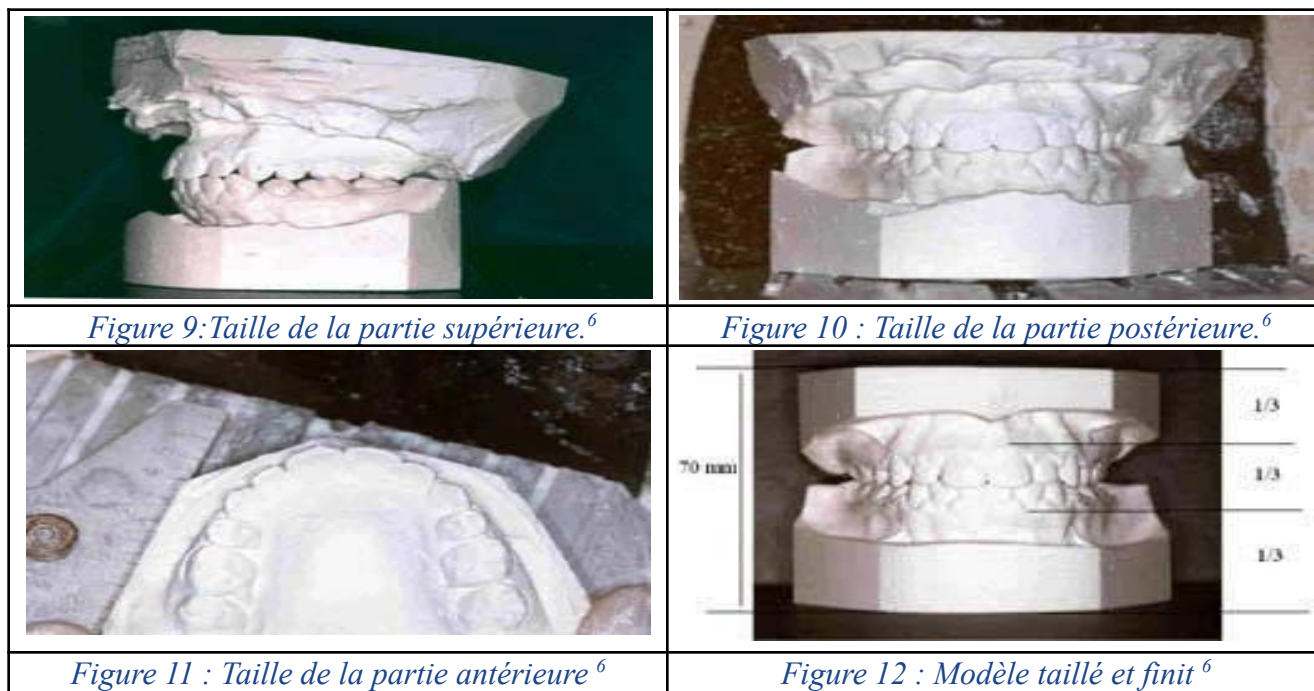
Figure 8 : Taille des angles postérieurs<sup>6</sup>

Pour la taille du moulage maxillaire, il faut d'abord placer les deux moulages en occlusion et suivre les étapes ci dessous:

- La partie supérieure du modèle maxillaire est taillée , de manière à avoir une hauteur des moulages en occlusion de 70 mm, en restant parallèle à la partie inférieure du modèle inférieur (c'est à dire parallèle au plan d'occlusion) (fig 9).

- La partie postérieure du modèle supérieur est taillée dans cette position de manière à s'aligner avec le modèle inférieur (fig 10).
- Les moulages sont séparés, le moulage supérieur est posé sur sa face supérieure et les plans latéraux sont taillés en respectant une valeur des angles de  $70^\circ$  avec la limite postérieure du modèle (de même manière que pour le modèle inférieur).
- La partie antérieure est constituée de deux plans de coupe partant des canines, se rejoignant au niveau du plan sagittal médian et faisant chacun, avec la limite postérieure, un angle de  $30^\circ$  (fig 11)
- Les angles postérieurs sont taillés en faisant un angle de  $130^\circ$  à  $135^\circ$  par rapport à la ligne postérieure du modèle.

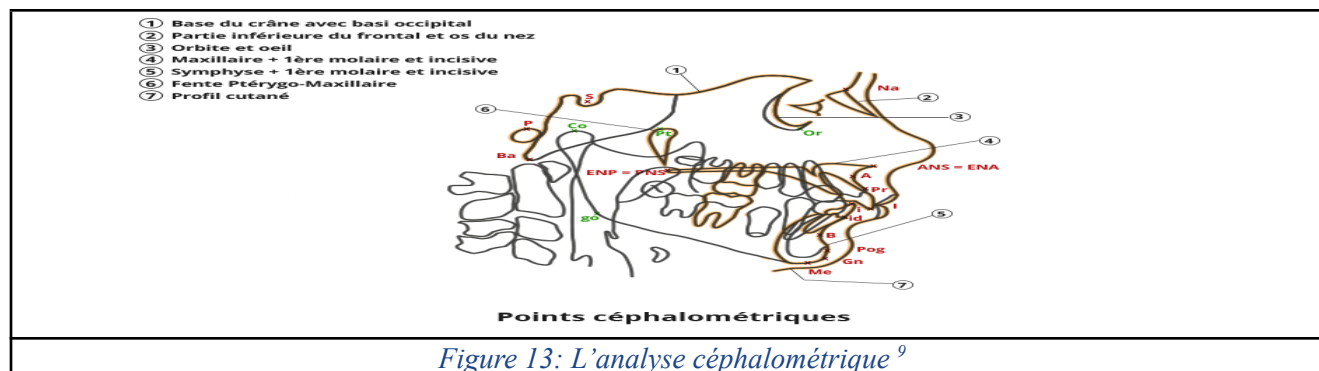
Enfin, les modèles sont polis au papier abrasif, trempés dans l'eau savonneuse puis frottés avec la poudre de talc (fig 12).<sup>7</sup>



#### 1.4. L'analyse céphalométrique :

Les analyses céphalométriques sont réalisées à partir d'une téléradiographie en occlusion. Les structures tridimensionnelles de l'édifice facial sont projetées sur un plan en 2 dimensions. Les dimensions sagittales et verticales peuvent être étudiées sur les clichés de profil, alors que les clichés de face permettent d'évaluer les dimensions verticales et transversales. Les orthodontistes peuvent avec cette aide au diagnostic identifier les causes possibles de malocclusions.<sup>8</sup>

Le traçage manuel de la céphalométrie est effectué par l'identification radio-repères graphiques sur les superpositions d'acétate et l'utilisation de ces points de référence pour construire des lignes, des plans, et des angles pour permettre la mesure des valeurs linéaires et angulaires, en utilisant une échelle millimétrique et un rapporteur d'angle. Son unique inconvénient réside dans sa réalisation manuelle chronophage. (Fig 13).



## 1.5. Les appareillages conventionnels :

Les appareils dentaires d'hier n'étaient pas très esthétiques. Ces appareils ont été faits à partir d'un cordon composé de peau d'animal, aussi appelé « catgut » - YIKES.

Pendant ce temps, le casque était aussi couramment utilisé pour établir une ancre qui guiderait les os supérieurs et inférieurs de la mâchoire dans l'alignement. Avant les progrès modernes, les appareils comportaient un cordon enroulé autour de chaque dent, ultérieurement, l'invention des barquettes métalliques traditionnelles a marqué sa présence ; celles-ci étaient constituées des supports métalliques fixés à la surface vestibulaire des dents, reliés par des arcs et des élastiques <sup>10</sup>

## 1.6. Le set-up traditionnel :

Harold Kesling qui, en 1956, a introduit l'utilisation d'une simulation sur des moulages orthodontiques en plâtre. Afin de réaliser un Set Up traditionnel sur des modèles en plâtre, il faut séparer chaque dent, et les repositionner dans la cire, en tenant compte notamment de la position finale de chaque dent, de l'occlusion et de la position de l'incisive mandibulaire d'après des critères céphalométriques. C'est un travail extrêmement chronophage, délicat, et difficilement modifiable. <sup>11</sup>



Figure 14 : Set-up conventionnelle <sup>12</sup>

## 2. Le numérique au service de la médecine dentaire :

L'arrivée du numérique a bouleversé la pratique de l'orthodontie en faisant évoluer chaque secteur d'activité.

### 2.1. Recherche d'un cabinet et prise de rendez-vous :

La première étape pour le patient est la recherche d'un cabinet d'orthodontie. Le numérique, à travers l'internet a permis aux orthodontistes d'obtenir une visibilité plus importante que précédemment, notamment par le référencement (Google, site internet, etc.). Le patient va pouvoir, par ces outils, choisir son orthodontiste en fonction des informations qu'il trouve sur ce dernier. Le site internet est ici une aide pour l'orthodontiste ; il donne une direction au patient et l'oriente sur la pratique du cabinet (technique utilisée, situation géographique, horaires d'ouverture, ambiance générale de cabinet).<sup>13</sup>

#### 2.1.1. Prise de rendez-vous en ligne :

De nombreux cabinets dentaires offrent maintenant la prise de rendez-vous en ligne sur leur site Web ou leur application mobile. Cela permet aux patients de fixer facilement des rendez-vous à leur convenance, sans avoir à appeler le bureau pendant les heures d'ouverture. <sup>13</sup>

### 2.1.2. Rappels de rendez-vous automatisés :

La technologie numérique permet aux cabinets dentaires d'envoyer des rappels de rendez-vous automatisés aux patients par courriel ou message texte. Cela peut réduire le nombre de rendez-vous manqués et améliorer la satisfaction des patients.<sup>13</sup>

### 2.2. La création et le stockage numérisé des dossiers :

Le numérique via l'informatique, a révolutionné l'activité du secrétariat en dématérialisant la fiche patient, libérant ainsi les cabinets des dossiers papiers.

Ces fiches patientes numérisées ont permis d'optimiser le secrétariat sur différents aspects :

- Suppression des dossiers papiers (rangement, organisation, perte des dossiers, etc.), ce qui permet de gagner plus d'espace au cabinet.
- Réduit véritablement les coûts de gestion en matière d'achat de papier et autres consommables d'impression,
- Accès direct et simple au dossier patient, et la signature électronique.
- Apparition de recherches systématiques sur les journées/ semaines en cours sur des sujets comptables, ou cliniques :
  - Exemple comptable : la recherche de tous les patients présentant un problème (de paiement, de mutuelle, etc..) pour anticiper leur venue et leur rappeler les documents à ne pas oublier.
  - Exemple clinique : la recherche de tous les patients n'ayant pas eu de radiographie de contrôle depuis plus de 6 mois, etc.
- Apparition d'alertes pour les éléments importants du dossier (allergie, situations familiales complexes, etc.) limitant les oublis.<sup>14</sup>

### 2.3. Aide à la communication :

De nombreux cabinets dentaires utilisent le courriel, la messagerie texte pour communiquer avec les patients et fournir de l'information sur les options de traitement et les rappels de rendez-vous.

Les échanges avec les correspondants des photographies numériques, des radiographies 3D numériques et du scan 3D intraoral, a facilité l'échange entre praticiens. La majorité des logiciels est aujourd'hui capable de mettre en page, sous forme de compte-rendu, les informations contenues dans la demande d'entente préalable et le plan de traitement, en y joignant l'ensemble des examens réalisés lors du bilan. Cette présentation standardisée a permis une meilleure communication entre dentistes et orthodontistes. Ces documents peuvent ensuite être transmis aux correspondants via des messageries sécurisées type Mailiz. (Fig 14).



Figure 15: Mailiz la messagerie sécurisée<sup>154</sup>

Au-delà, les logiciels orthodontique ont développé des plateformes en ligne permettant aux correspondants de consulter les photographies et autres documents relatifs au traitement de leurs patients : chaque patient se voit ainsi associé un numéro (code d'accès) lui permettant, à lui comme au praticien, d'accéder au contenu de son dossier.



Figure 16 : Odaiji logiciel des dossiers médicaux<sup>15</sup>

### 3. L'Apport du numérique en matière de diagnostic orthodontique :

Le diagnostic est la clé du traitement en ODF, il doit être de qualité et être posé avec la plus grande précision. Il repose sur un examen clinique systématisé et standardisé et doit avoir abordé l'ensemble des éléments anatomiques et fonctionnels.

La démarche diagnostique s'articule autour de trois axes. Le bilan clinique classique, réalisé dans un premier temps, comprend l'anamnèse, l'examen clinique exobuccal, l'examen clinique endobuccal et un examen des relations inter-dentaires. A ceci s'ajoute un examen clinique fonctionnel des muscles et fonctions. Pour finir, des examens complémentaires précisent et complètent l'examen clinique et permettent de mesurer et de quantifier les différentes anomalies découvertes. La photographie, les empreintes et encore l'imagerie font partie des examens complémentaires.

L'essor du numérique dans cette discipline permet une évolution de ces examens, aboutissant à des nouvelles approches dans les domaines de l'examen dentaire et de l'imagerie.

A l'origine, le diagnostic à l'aide des technologies numériques était destiné à la recherche. De nos jours, son utilisation commence à se généraliser.<sup>16</sup>

#### 3.1. L'imagerie numérique :

##### 3.1.1. Photographie numérique :

Les photographies font actuellement partie de notre quotidien. Nous en sommes en permanence entourés, ce qui nous paraît totalement naturel. La photographie est l'art d'enregistrer de façon permanente un objet éclairé par la lumière. Elle est donc un outil incontournable en orthodontie, fournissant des informations utiles à l'exercice.

La photographie est un procédé permettant d'enregistrer, à l'aide de la lumière et des produits chimiques, l'image d'un objet. La lumière est un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde, comprise entre 400 et 780 nm, correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain, entre l'ultraviolet et l'infrarouge.

L'orthodontiste a un rôle prépondérant en tant que guide de la croissance maxillo-faciale. Il est donc impératif de capturer chaque instant ou fait marquant, avant, pendant et même après une thérapeutique.<sup>17</sup>

Les intérêts de la photographie numérique se définissent ainsi (Sandler J, 2002) :

- Instantanéité de l'évaluation des résultats de la photographie avec présence d'un écran LCD (Liquid Crystal Display).
- Possibilité de suppression immédiate ou différée du cliché.



- Modification et amélioration via des logiciels de traitement d'image allant d'une simple rotation, à un recadrage ou encore à une modification de l'exposition de la photographie. De plus, (Kapoor P, 2015) expose les dangers potentiels de manipulation (au sens authenticité) d'une image et nous nous devons d'en tenir compte dans notre pratique.
- Sauvegarde des photographies et leur archivage facilité sur ordinateur.
- Transfert facilité vers les ordinateurs (connexion USB, lecture de la carte mémoire ou encore liaison WIFI).
- Impression sur différents supports.
- Modélisation de la face du patient avec possibilité de création d'un morphing et de son utilisation dans un logiciel de planification pour la gestion des tissus mous.
- Communication inter-praticienne dans le cas de collaborations mais aussi avec le patient avec un partage facilité des images.
- Prix accessible et facilité d'utilisation.
- Pas de dégradation dans le temps du cliché.

Le praticien constitue ainsi un dossier photographique à l'aide de différents clichés. Ces photographies doivent être identifiées et numérotées. Ce bilan constitue une preuve médico-légale de l'état initial, il fait donc office d'état des lieux et est réalisé en même temps que l'examen clinique du visage et de la cavité buccale.

Nous pouvons dire que la photographie est une méthode de visualisation simple et commune, servant de référence pour le bilan esthétique du patient.

Le but de ce bilan est donc de visualiser, diagnostiquer et planifier les tâches à effectuer.

Des clichés équivalents sont réalisés en fin de traitement permettant un point de comparaison entre pré et post opératoire. Ce sont des photos standardisées qui permettent une certaine reproductibilité.

Le dossier comprend différents clichés qui sont au minimum :

- trois clichés exo-buccaux.
- Trois clichés intra-buccaux permettant une observation directe de l'occlusion.<sup>16</sup>

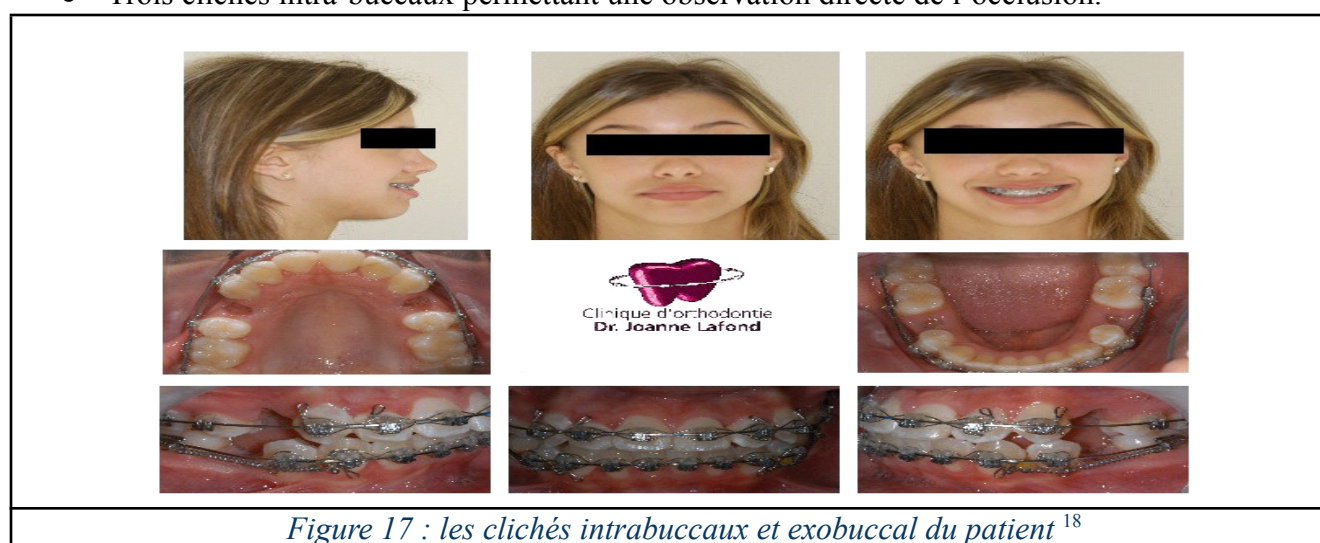


Figure 17 : les clichés intrabuccaux et exobuccal du patient <sup>18</sup>

### 3.1.2. Le panoramique :

La radiographie panoramique ou orthopantomogramme est une des techniques de radiographie dentaire extra-orale .Elle permet d'obtenir une image des arcades dentaires ainsi que des structures avoisinantes sur un film unique grâce à une faible exposition de 0.006 mSv. En complément de l'examen clinique l'orthopantomogramme est l'examen d'imagerie de première intention. <sup>19</sup>

Cette radiographie est le standard orthodontique et elle est prise pour tous les patients qui sont suivis pendant le développement de la dentition ou qui entreprennent un traitement.

Il est recommandé de prendre une radiographie panoramique vers l'âge de 8-9 ans afin d'avoir une bonne vue d'ensemble de la dentition présente et en développement. Elle permet d'évaluer :

- o la direction d'éruption des dents;
- o le nombre des dents (il peut y avoir des dents manquantes ou en trop);
- o leur forme, grosseur et degré de formation (âge dentaire – retard ou avance);
- o la présence de pathologies (kystes, hypercalcification, résorption, usure, etc.).

La radiographie panoramique est prise au début de traitement, vers la mi-traitement pour vérifier la position des dents, l'inclinaison des racines et la présence d'usure radiculaire (résorption), etc. et à la fin du traitement. Elle est aussi prise après la fin du traitement à un intervalle de quelques années afin de suivre l'évolution des dents de sagesse. Pendant la phase de dentition mixte ( 6 à 12 ans) elle permet à l'orthodontiste de déceler la présence des problèmes d'éruption et autres anomalies et lui permet de faire des recommandations pouvant minimiser certains problèmes. Elle s'avère un outil indispensable pour la prévention et l'interception orthodontique.<sup>20</sup>

### 3.1.3. La téléradiographie :

Le télécrâne est une imagerie radiologique pouvant être réalisée de face et de profil, permettant de visualiser l'ensemble du crâne. Cet examen, en complément du panoramique dentaire, permet à l'orthodontiste d'identifier différents points d'intérêts et mesures nécessaires à certains traitements orthodontiques. La position des dents de sagesse est analysable et d'une grande importance pour l'orthodontiste. Certaines anomalies de la statique crânienne peuvent également être détectées puis corrigées par l'orthodontie et la chirurgie orthognatique.

L'imagerie n'apporte que peu d'informations cliniques. En revanche l'étude céphalométrique et son compte rendu permettent de mesurer de nombreux angles et distances qui seront pris en compte lors d'une programmation orthodontico-chirurgicale. Ces analyses servent de référence lors des discussions entre médecin et orthodontiste.<sup>21</sup>

En pratique dentaire, il existe trois types de télécrâne de profil de face et parfois en incidence axiale dont le plus informatif est la céphalométrie de profil.

#### La téléradiographie de face:

Il s'agit d'une radiographie de la tête de face, permettant d'apprécier la hauteur verticale des arcades dentaires ainsi que la symétrie du visage. Lors de dysmorphies importantes, il est par exemple possible que le résultat de la téléradiographie indique la nécessité de recourir à un traitement chirurgical en plus de l'orthodontie classique.

#### La téléradiographie de profil:

Ici, la radiographie de la tête est réalisée de profil afin de détailler les positions relatives des arcades dentaires maxillaires et mandibulaires. Divers types de relations entre ces arcades sont possibles, on identifiera donc les classes d'Angle I, II et III, correspondant respectivement à une position physiologique, une rétrognathie (menton en arrière) et une prognathie (menton en avant).

**La téléradiographie axiale :** représentation du sens transversal et antéro postérieur.<sup>22</sup>



Figure 18 : la prise d'une téléradiographie <sup>156</sup>

### 3.1.4. Tomodensitométrie:

L'imagerie tridimensionnelle par tomodensitométrie volumique à faisceau conique (TVFC – ou "Cone Beam Computer Tomography" CBCT) est obtenue à l'aide d'un scanner à rayons X numérique spécialement conçu pour l'examen radiologique de la tête et des mâchoires. Le scanner tourne à 360 degrés autour de la tête du patient en quelques secondes seulement. Les rayons X sont émis par un tube à anode fixe à faible énergie similaire à celui utilisé dans les machines panoramiques traditionnelles. Cette technologie réduit la diffusion de rayonnement secondaire traditionnellement généré par la prise de radiographies. La forme conique du faisceau 3D permet d'obtenir des images 2D ou des volumes 3D nécessaires pour la planification de certains traitements



Figure 19 : la tomodensitométrie volumique à faisceau conique <sup>20</sup>.

Une radiographie volumique peut être prise pour :

- L'évaluation de dents sévèrement incluses, particulièrement les canines et les dents de sagesse,
- Les cas nécessitant une chirurgie orthognathique.
- Les asymétries squelettiques, pour évaluer les anomalies des mâchoires,
- Évaluer les articulations temporo-mandibulaires (anomalies anatomiques, asymétries, dégénérescence des condyles, etc.). Cette information est particulièrement utile lorsqu'elle est accompagnée par la prise d'une résonance magnétique des ATMs (IRM).
- La planification d'implants dentaires; l'orthodontie est souvent une phase préparatoire en permettant de positionner les dents de façon optimale pour le clinicien qui fera la pose d'implants. La localisation du nerf inférieur alvéolaire en 3D est essentielle dans la planification de la pose d'implants dentaires à la mandibule. Au maxillaire supérieur, le sinus doit être identifié précisément.
- L'évaluation des voies respiratoires supérieures (cas d'apnée du sommeil et/ou de ronflement).
- La détection de pathologies.
- L'évaluation des sinus maxillaires, de la cavité nasale.
- L'évaluation de problèmes parodontaux importants ayant causé des défauts osseux (perte du niveau d'os supportant les dents).<sup>20</sup>

### 3.1.5. CONE BEAM :

Depuis peu, une nouvelle technique d'imagerie décrite comme révolutionnaire a fait son apparition : la tomographie volumique à faisceau conique ou « cone beam ». Elle permet l'acquisition numérisée des structures osseuses et la réalisation de coupes dans les trois dimensions. Elle offre une variété de reconstructions planes ou courbes en orientation coronale, sagittale, oblique, panoramique ainsi que des reconstructions tridimensionnelles tout en étant très économe en dose d'irradiation ce qui en fait le principal avantage comparé au scanner.<sup>23</sup>

Le cone beam computerized tomography (CBCT) voit le jour et utilise un faisceau ouvert de rayons X, le plus souvent conique. Les données numériques de ses projections multi angulaires sont traitées par des algorithmes de reconstruction qui restituent l'objet.

L'ODF bénéficie de l'apport diagnostique (morphologique et topographique) du CBCT sont pour les éléments dentaires inclus et pour l'étude des structures de voisinage mais aussi pour l'analyse du massif facial. Son application s'étend grâce aux appareils à grand champ à la céphalométrie 3D.<sup>16</sup>



Figure 20 : Cone Beam Computed Tomography<sup>23</sup>.

En orthodontie, le cône beam peut trouver un intérêt spécifique dans :

- L'analyse des anomalies dentaires (dent incluse, dent surnuméraire, résorption radiculaire...).
- L'analyse des dysmorphoses transversales lors de thérapeutiques d'expansion maxillaire rapide (EMR).
- L'analyse céphalométrique des dysmorphoses et des anomalies squelettiques.
- L'évaluation préopératoire des sites anatomiques destinés à la pose d'un ancrage osseux temporaire.
- L'analyse des voies aériennes supérieures pour les patients présentant un syndrome d'apnées hypopnées obstructives du sommeil (SAHOS).
- L'analyse des pathologies des articulations Temporo.Mandibulaires (ATM.)<sup>24</sup>

### 3.2. L'analyse céphalométrique :

L'analyse céphalométrique permet de mesurer avec précision les différents paramètres de la face tant au niveau des dents que des os. Elle permet de quantifier les malocclusions et d'établir un diagnostic et un plan de traitement individualisé, adapté à chaque patient. Des mesures d'angles anatomiques sont réalisées sur chaque patient, ainsi nous possédons une connaissance parfaite de la morphologie propre de chacun de nos patients.<sup>157</sup>

Après un examen visuel de l'ensemble de la téléradiographie du crâne de profil qui apporte déjà un certain nombre d'informations, on procède à une analyse graphique de la radiographie réalisée le plus souvent aujourd'hui par un logiciel informatique spécifique. A partir des points anatomiques on trace des lignes qui vont déterminer des angles qui seront ensuite mesurés.

La comparaison des angles mesurés sur la radio du patient avec des normes permet de préciser:

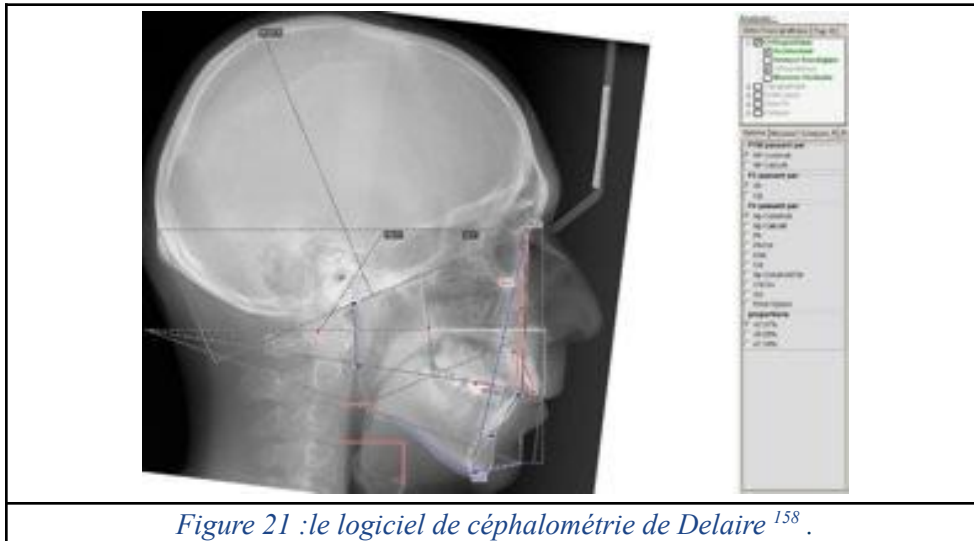
- l'équilibre vertical du squelette facial.
- l'esthétique du profil.
- la position des mâchoires par rapport à la base du crâne.
- le décalage d'avant en arrière entre les mâchoires.
- le degré d'inclinaison vers l'avant des incisives centrales.<sup>25</sup>

#### 3.2.1. Quelques exemples des logiciels pour l'analyse céphalométrique:

##### 3.2.1.1 Delaire Céphalométrie :

Les logiciels de céphalométrie et d'orthodontie du Pr Delaire permettent le traitement d'une multitude d'analyses sélectionnables simultanément ou indépendamment. Ils offrent, de plus, un affichage d'images simples ou combinées, proposant la comparaison ainsi que l'obtention rapide de diverses analyses dont l'aide à la prothèse totale, les analyses "Architecturales", "Orthognathiques", "Cranio.Mandibulaires", en se basant sur les téléradiographies de profil du patient.

D'une utilisation simple, aisée, ergonomique, ces logiciels possèdent des aspects fonctionnels performants et en évolution régulière.<sup>158</sup>



### 3.2.1.2. Procuste:

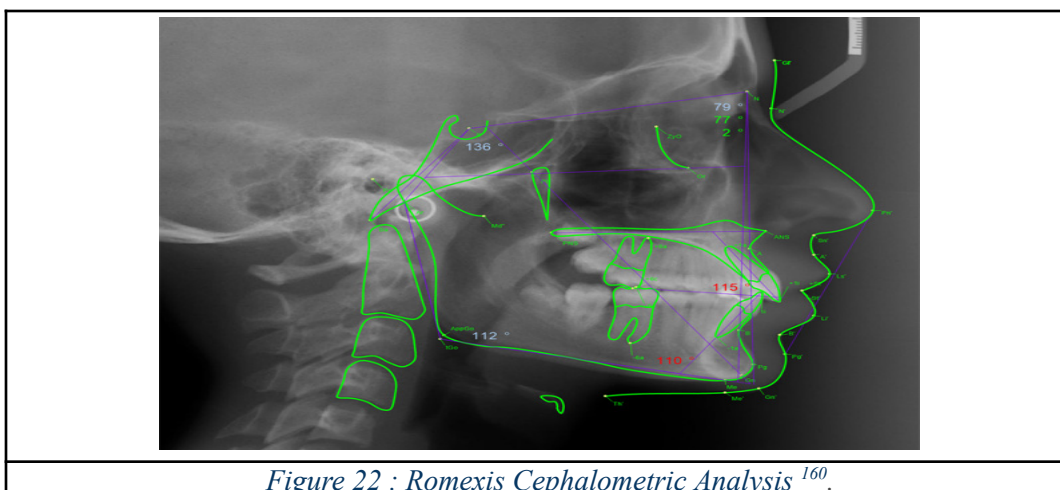
Le logiciel Procuste réalise une analyse céphalométrique visuelle et rapide, en moins de 3 minutes, basée sur les méthodes les plus récentes de morphométrie géométrique. Le diagnostic par superposition Procuste se fait par l'examen visuel des différences entre le cas et un optimum. Selon Sassouni, un optimum est un objectif de traitement personnalisé en fonction de la typologie, du stade de croissance et de l'appartenance ethnique de chaque cas.

Pour compléter l'analyse Procuste, le logiciel calcule la plupart des valeurs céphalométriques de Tweed, de Ricketts et de Steiner : FMA, IMPA, FMIA, SNA, SNB, ANB, AoBo, Index facial. Ce logiciel (gratuit) est une vraie innovation pour l'ODF. C'est une vraie aide au diagnostic et surtout au traitement du jeune patient en croissance. Il est très pratique, simple d'utilisation et à la portée de tout praticien orthodontiste.<sup>159</sup>

### 3.2.1.3. Romexis® Cephalometric Analysis :

C'est un logiciel de planification des traitements d'orthodontie. Le module logiciel Planmeca Romexis® Cephalometric Analysis est l'outil rêvé pour les analyses céphalométriques, la planification chirurgicale et les suivis de traitements en 2D. Le logiciel offre de nombreux avantages pour l'orthodontie, la dentisterie générale et la chirurgie maxillofaciale.

Romexis Cephalometric Analysis propose des outils conviviaux qui permettent d'analyser les images de façon rapide et efficace. La fonction de tracé automatique du logiciel place les points et les silhouettes de tissus mous sur une image céphalométrique en l'espace de quelques secondes, ce qui vous laisse l'avantage de temps pour interpréter les résultats de l'analyse.<sup>160</sup>



### 3.2.1.4. Logiciel cepho :

L'intelligence artificielle va directement analyser la céphalométrie, marquer tous les repères et générer un tracé. À partir de la fenêtre déroulante, le passage d'une analyse à l'autre est maintenant facile et l'interprétation des résultats se fait à l'aide des colonnes Graphique et Évaluation. <sup>161</sup>

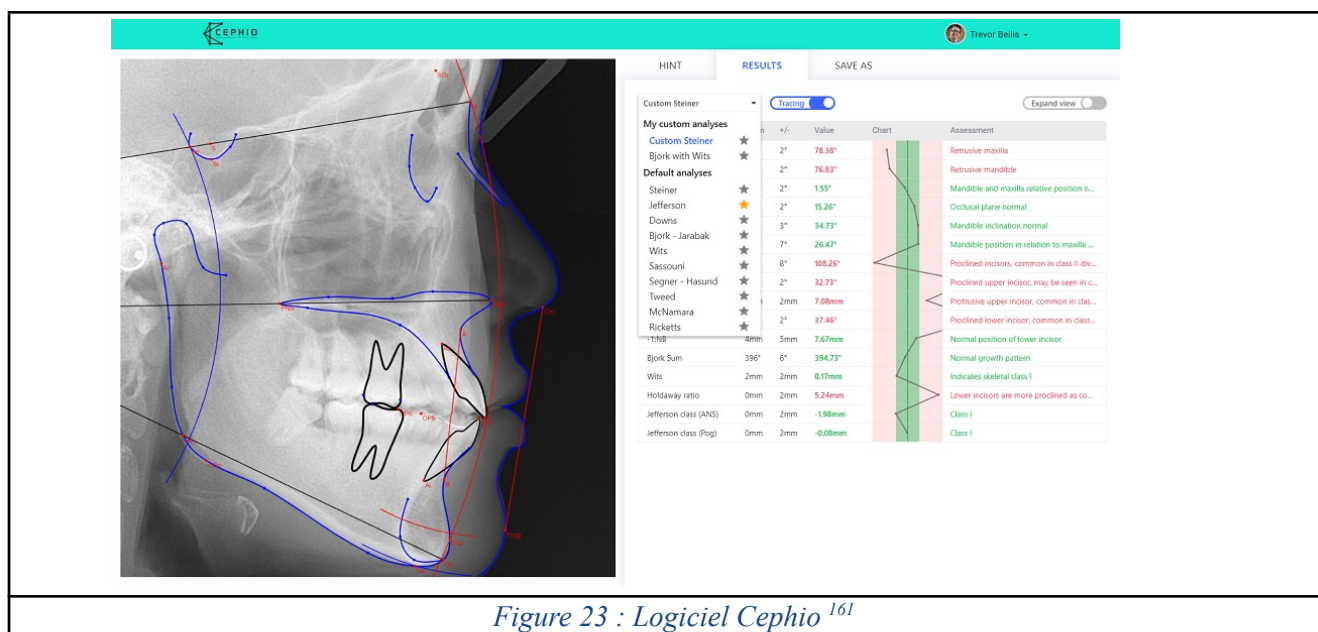


Figure 23 : Logiciel Cephio <sup>161</sup>

### 3.3. L’empreinte optique en orthodontie :

Dans la chaîne numérique, l’empreinte ne se fait plus à l’aide d’une pâte mais grâce à une caméra qui filme les surfaces dentaires. Avant un traitement orthodontique, l’empreinte optique permet au praticien d’obtenir une image en trois dimensions, ceci à l’aide d’une caméra intra-orale couplée à un ordinateur.

Ces caméras d’empreinte sont peu encombrantes et faciles à manipuler. Dans certains cas, une poudre recouvre la partie à scanner. Dans d’autres cas, la caméra ne le nécessite pas.

Ces caméras peuvent effectuer des prises en couleur, ce qui facilite le choix de la teinte d’une future reconstruction.

Une empreinte optique est réalisée de façon directe, à l’aide d’une caméra intra-orale (ou scanner intraoral). Le système de prise d’empreinte quant à lui nécessite la caméra, un ordinateur et un logiciel. La caméra acquiert de nombreuses images intra-buccales (6000/seconde en moyenne), qui sont ensuite transmises à l’ordinateur ou à l’unité d’acquisition adaptée au modèle de caméra, sur lequel un logiciel traite les données afin de créer un modèle virtuel en trois dimensions. Le marché de l’empreinte optique est en perpétuelle évolution et il est difficile de pouvoir citer l’intégralité des caméras disponibles actuellement sur le marché.

Les plus répandues en 2019 selon l’article de Casas et al sont :

- Trios3® et Trios4® de 3Shape
- iTero Element2® et iTero Element5D® de Align Technology
- Cerec Omnicam® et PrimeScan® de Dentsply Sirona
- CS3600® et CS3700® de CareStream
- Emerald® de Planmeca
- MEDIT i500® de MEDIT
- Lythos® d’Ormco
- CondorScan® de Biotech
- True Definition® de 3M

### 3.3.1. Les avantages pour le patient:

- Pas d'utilisation d'un matériau pâteux entraînant un gêne respiratoire ou un réflexe nauséeux
- Rapidité de la réalisation, de l'ordre de 2-3 minutes environ
- Vérification immédiate de la qualité de l'image et de la présence de tous les détails nécessaires
- Stabilité de l'empreinte qui ne subit pas de déformation et qui est inaltérable.
- Le rôle du prothésiste reste essentiel et son travail gagne en rapidité, fiabilité et donc en efficacité. Les communications avec le praticien sont aisées, et les plates-formes d'échanges sécurisées.<sup>162</sup>

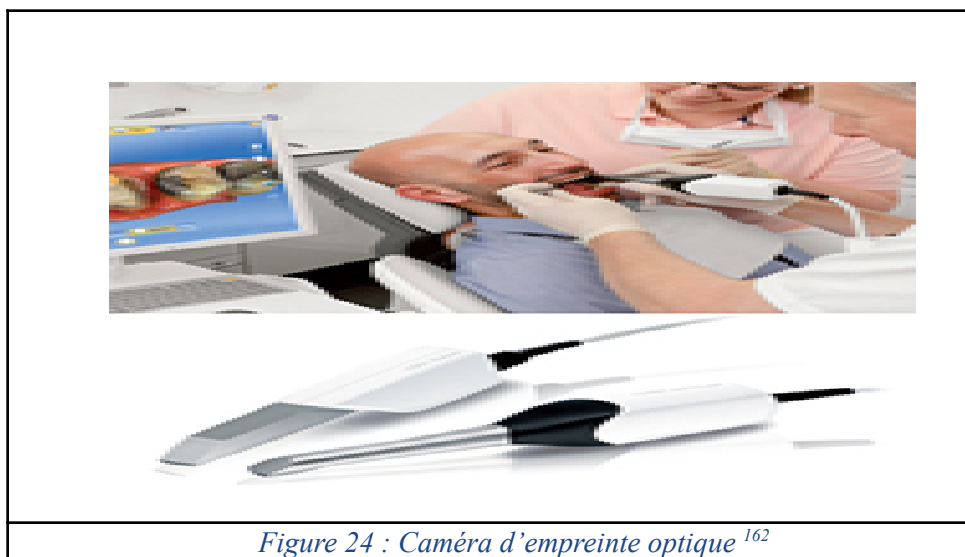


Figure 24 : Caméra d'empreinte optique<sup>162</sup>

### 3.4. Numérisation des modèles et des empreintes :

#### 3.4.1. Numérisation indirecte:

La numérisation se fait par sous-traitance, elle nécessite pour chaque patient le même protocole qui est d'ailleurs commun à beaucoup de sociétés telles qu'Invisalign, OrthoCad, Emodel, Bibliocast.

##### 3.4.1.1. Installation du logiciel:

Ces logiciels sont propres à chaque société. Ils sont facilement disponibles sur internet par téléchargement ou par envoi gratuit d'un CD-ROM d'installation.

##### 3.4.1.2. La prise d'empreinte :

- Il est essentiel de prendre des empreintes de très bonne qualité ainsi qu'une cire d'occlusion.
- Ces empreintes peuvent être réalisées à l'aide d'un alginate, d'un silicone polyvinyle ou d'un matériau polyéther.
- Le principal est de produire des empreintes d'une grande précision et qui résistent le mieux et le plus longtemps aux variations de volume.
- L'alginate de choix est l'orthoprint.
- Ces empreintes restent stables volumétriquement pendant 5 jours.
- Si l'on pense que celles-ci ne seront pas livrées pour un tel délai de temps, il est conseillé d'employer un polyéther tel que l'impregum.

##### 3.4.1.3. La numérisation des modèles :

Dès la réception l'entreprise coule les empreintes et procède à la numérisation :

##### 3.4.1.4. Envoi des modèles numérisés au praticien:

La réception des modèles se fait via l'internet sur le site de la société, un mot de passe, et un identifiant sont attribués à chaque praticien il existe deux différentes techniques de numérisation:

#### **3.4.1.4.1. Technique dite "non destructive":**

Un laser scanne l'ensemble de la surface du modèle grâce à un mécanisme permettant de faire tourner le modèle dans les trois sens de l'espace. Le scanner projette un rayon laser sur la surface du modèle et utilise une caméra numérique pour analyser les distorsions du rayon au fur et à mesure de sa progression.

#### **3.4.1.4.2. Technique dite "destructive":**

Elle nécessite l'utilisation d'une machine qui coupe le modèle en plâtre en fines couches. Après la destruction de chaque couche, une deuxième machine produit une série de photographies numériques, le résultat est un modèle de chaque couche.

Un logiciel est ensuite utilisé pour analyser les données numériques et générer une modélisation tridimensionnelle du modèle en plâtre

### **3.4.2. Numérisation directe:**

Dans cette seconde technique il n'est plus nécessaire de passer par l'intermédiaire d'une société pour numériser des modèles. Les moulages 3D sont directement réalisés au sein du cabinet d'orthodontie.

#### **3.4.2.1. Numérisation des arcades en bouche:**

Grâce à ces techniques de numérisation 3D intra orales, il est possible d'obtenir une schématisation numérique des arcades sans passer par les moulages en plâtre. Il existe plusieurs techniques à notre disposition telles que la caméra Cerec de Sirona ou le système Suresmile.

##### **3.4.2.1.1. La technique Suresmile:**

Cette technique permet une individualisation du traitement de chaque patient à l'aide de trois outils:

- un scanner intra oral .
- un logiciel d'interprétation des données numériques et de planification du traitement.
- un robot permettant la fabrication d'arcs personnalisés.

##### **➤ L'Oro-scanner de Suresmile:**

Il est le premier dispositif intra oral de production d'images tridimensionnelles pour l'orthodontie. la technique de numérisation de l'Oro-scanner est basée sur une lumière blanche non invasive pouvant être utilisée plusieurs fois sur le patient sans effets secondaires, un minuscule appareil photo relié à l'ordinateur est intégré dans le dispositif de l'Oro-scanner; ce dernier capture des images des dents, le logiciels de Suresmile transfère ces images sur une grille tridimensionnelle et crée une reconstruction 3D de la dentition du patient; la capture des images est possible grâce à un miroir démontable attaché à l'extrémité du module de balayage étant donnée la translucidité des dents, une solution d'oxyde de titane est appliquée en bouche avant le balayage. Le temps d'acquisition pour les deux arcades complètes est d'environ 45 minutes ,donc un peu long.

##### **➤ Le logiciel Suresmile :**

Le logiciel dispose également d'une fonction "diagnostic", les fenêtres du logiciel représentent de vues 3D des arcades que l'on peut manipuler , ainsi que le positionnement des brackets lors du set up. On peut aussi réaliser des collages indirects à l'aide de gouttières faites selon les indications cliniques du logiciel de Suresmile .



➤ **Le robot:**

Le logiciel Suresmile transmet les données à un robot muni d'un bras articulé. Celui-ci réalise l'arc personnalisé, qui correspond au plan de traitement défini et validé par l'orthodontiste précédemment.

**3.4.2.2. Numérisation des moulages au cabinet:**

● **Système Roland:**

Les scanners laser 3D permettent une acquisition sans contact à l'aide d'un laser. Il existe différentes machines proposées chez Roland telles que : LPX.1200, LPX.60, LPX.600.

● **Système Minolta:**

Le VI 910 est un scanner laser 3D commercialisé par Minolta .Il permet une acquisition sans contact et très rapide (0,3 secondes par scan), donc sans inconvénient pour le patient .il permet à la fois une numérisation des volumes des textures

- Il trouve son application dans le domaine médical en permettant la digitalisation de visages humains et toute autre partie du corps humain sans risque.
- Les modèles 3D peuvent être analysés, travaillés ou stockés pour archivage médical.
- Les applications trouvent leur place dans la modélisation des modèles orthodontiques.<sup>163</sup>

**3.5. La visualisation des objectifs de traitement :**

La visualisation des objectifs de traitement (OVT) est un guide nécessaire à la décision thérapeutique en orthopédie dentofaciale (ODF). Ce guide permet au praticien de choisir entre plusieurs options et d'individualiser le plan de traitement à son patient; **Kesling**, ne réalise qu'après l'importance et l'utilisation qu'il pourrait faire de ce set-up à des fins diagnostique et pour élaborer un plan de traitement. (Fig 25)

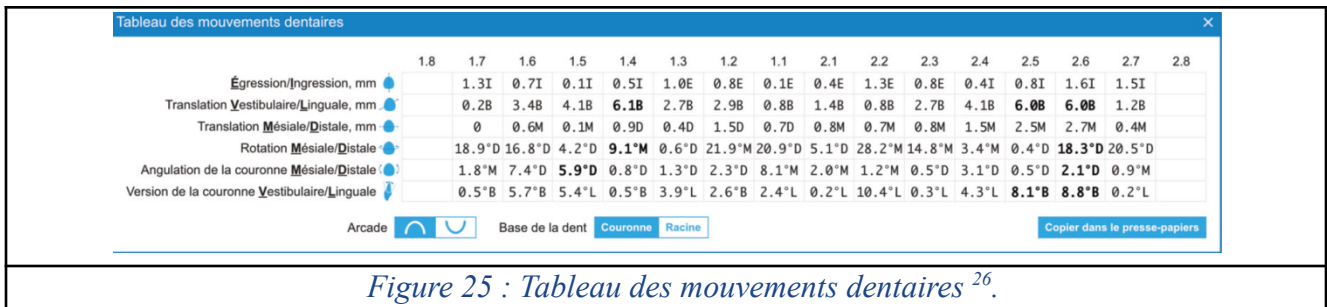


Figure 25 : Tableau des mouvements dentaires<sup>26</sup>.

Des décennies plus tard, Tom Pitts a énoncé l'intérêt de «commencer un traitement avec la fin en tête» afin d'avoir une meilleure finition et de meilleurs résultats esthétiques en fin de traitement.

L'utilisation de modèles numériques en orthodontie offre de nombreux avantages, le premier étant déjà le stockage, le second étant le gain de temps.

Grâce aux outils informatiques récents, la réalisation d'un Set-Up virtuel est beaucoup plus rapide que pour un Set-Up conventionnel. Mais le principal avantage du Set-Up numérique réside dans la précision qu'il apporte au diagnostic, avec des mesures beaucoup plus complètes, et une rapidité d'analyse qui permet à l'orthodontiste d'avoir une quantité importante d'informations à sa disposition pour étudier chaque malocclusion.

Les Set-Up numériques sont faciles à dupliquer, modifier ou manipuler, la forme de l'arcade dentaire peut être planifiée à l'avance à l'aide de chartes par exemple, on a la possibilité de réaliser des superpositions par rapport à l'état initial et l'on peut obtenir des informations extrêmement précises sur l'ensemble des mouvements dentaires réalisés dans les 3 dimensions. Ils nous permettent de tester facilement et simplement différentes hypothèses thérapeutiques, et l'on pourra mixer différents examens 3D afin d'obtenir une simulation encore plus précise, notamment avec l'utilisation d'un Cone Beam (CBCT) pour avoir un Set-Up incluant les racines dentaires et l'os alvéolaire.

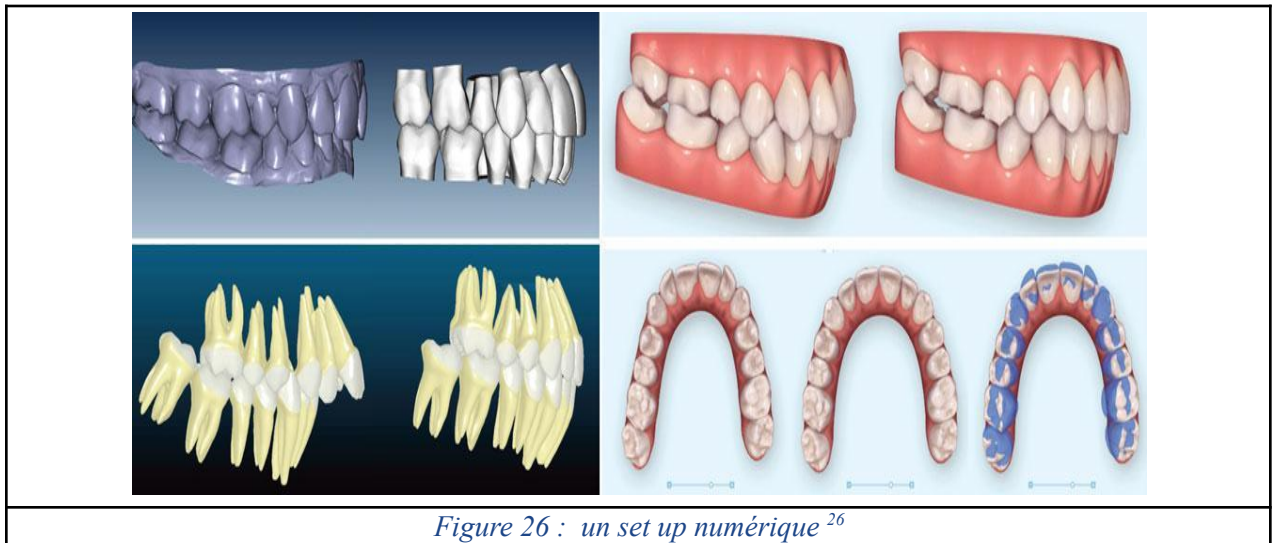


Figure 26 : un set up numérique <sup>26</sup>

A l'instar des plans d'un architecte avant la construction d'une maison, plus le Set-Up est travaillé et détaillé, plus les difficultés ont été évaluées et devancées, meilleur sera le traitement et son déroulé. Enfin, le Set-Up numérique permet une meilleure communication. Avec les patients, en leur montrant le résultat « avant/après » grâce aux modèles 3D, ou en intégrant ce résultat dans leur sourire grâce à des outils comme le Digital Smile Design®. Il est alors plus facile pour le patient de comprendre le plan de traitement, et de faire d'éventuelles remarques en amont (plutôt qu'une fois le traitement fini). Cela facilite également les échanges avec les correspondants, puisque la communication peut se faire à distance, ce qui permet une meilleure prise en charge des traitements interdisciplinaires.<sup>26</sup>

### 3.6. La superposition tridimensionnelle:

La comparaison de radiographies d'un même patient à deux temps distincts, appelée « superposition », a un intérêt majeur en orthopédie dento-faciale (ODF). Aujourd'hui, les techniques de superpositions de téléradiographies de profil (2D) sont encore largement utilisées. Ces techniques 2D présentent cependant des limites, pouvant questionner leur fiabilité et reproductibilité. De plus, elles ne peuvent être appliquées aux radiographies tridimensionnelles (Scanner ou CBCT) qui sont de plus en plus utilisées en ODF. La superposition de radiographies 3D, basée sur la reconnaissance automatique des niveaux de gris des voxels, a été appliquée pour la première fois à l'ODF en 2005.

Cette technique permet de recalibrer, sur des structures anatomiques stables, deux acquisitions 3D d'un patient. L'algorithme est entièrement automatisé, permettant de s'affranchir des aléas opérateurs dépendant. Notre revue de la littérature montre que la méthode a été validée chez des patients en croissance ou non, dans le cadre de superpositions générales et locales. L'analyse pas à pas de sept cas cliniques originaux, à travers des superpositions générales et locales, permet de présenter l'intérêt clinique et le potentiel de ces superpositions 3D. L'interprétation des résultats reste aujourd'hui un défi et n'est pas standardisée.<sup>27</sup>

Avec le développement de la 3D est nés des instruments permettant la comparaison des données tridimensionnelles. Pour l'ODF, il existe deux types de superpositions et celles-ci ont donné naissance à la notion de « recalage tridimensionnel ».

**Type 1:** les superpositions conventionnelles, lorsque l'utilisateur privilégie une zone supposée stable ou « zone enregistrée » et qu'il visualise ainsi l'évolution (croissance, thérapeutique, vieillissement, etc.) des zones modifiées par rapport à cette référence stable. Il y a donc un choix opérateur dépendant.

**Type 2:** la superposition Procuste, dans laquelle le logiciel corrige l'échelle, oriente les deux sujets en parallélisant les axes d'inertie et superpose au mieux l'ensemble de l'objet étudié affranchi de toute notion de repère ou de zone de superposition. Cette technique sépare les effets de taille des effets de forme et est non opérateur dépendant.

La superposition avec une zone enregistrée supposée stable, mettra mieux en évidence la variation observée qu'une superposition Procuste sur l'ensemble. Le choix entre ces deux méthodes dépendra de:

- La nature du phénomène étudié. Si l'évolution est globale, par exemple un processus de croissance, la superposition Procuste sera l'arme privilégiée. Si l'évolution est bien localisée, par exemple une chirurgie d'avancement mandibulaire, une superposition sur « zone enregistrée » (dans ce cas, la branche montante postérieure à l'ostéotomie) retrouvera tout son intérêt.
- Du caractère isolable ou dissécable de la zone d'intérêt (dissection réelle ou virtuelle).
- De l'existence et de la répartition d'un diagramme de points caractéristiques ou des zones de superposition, sur le site stable (zone enregistrée) et sur le site supposé mobile.
- Avec une répartition des points caractéristiques inhomogènes, la superposition Procuste apparaît comme une superposition privilégiant la zone de densité maximale de ceux-ci, pseudo. Zone enregistrée. L'évolution de l'analyse par superposition Procuste vers une superposition sur zone enregistrée, est souvent recherchée, il s'agit d'un « recalage ».
- Le recalage tridimensionnel orthodontique consiste donc à superposer, à fin d'analyse, les données volumiques modélisant plusieurs images d'un espace bucco-dentaire d'une zone enregistrée. Les procédures de recalage de données 3D acquises par CBCT peuvent être effectuées avec différents logiciels tel qu'Imaginé software®.
- La technique de recalage la plus utilisée en odontologie est celle du recalage rigide. Il ne s'agit pas d'une modification de l'image, seuls des changements d'échelle, des rotations et des translations sont possibles en guise de transformations spatiales. De plus, il existe deux types de recalage des images 3D, une méthode se basant sur la sélection de points, de plans ou de surfaces repères et une méthode se basant sur une reconnaissance des niveaux de gris entre les voxels des deux acquisitions à recaler (saisie 3D complète de surface).
- En exemple, concernant l'étude de l'évolution maxillo-faciale, divers auteurs utilisent la base du crâne ou plus précisément la partie antérieure de celle-ci (pour l'évaluation de la croissance), comme zone de superposition. Il s'agit d'une structure stable qui n'est pas altérée par la croissance et/ou le traitement. Ainsi, (Cevitanes L. S., 2009) définit un protocole de superposition :

Sur deux images basi-crâniennes A et B, disposées dans le même espace virtuel, des repères homologues sont identifiés, le programme détermine alors la matrice de déplacement superposant A sur B. Un ajustement manuel est nécessaire. Les différences A/B peuvent être chiffrées dans le repère orthonormé défini par le diagramme des points repères. Les limites de la méthode restent celles d'un système axé sur la comparaison de deux individus.<sup>16</sup>

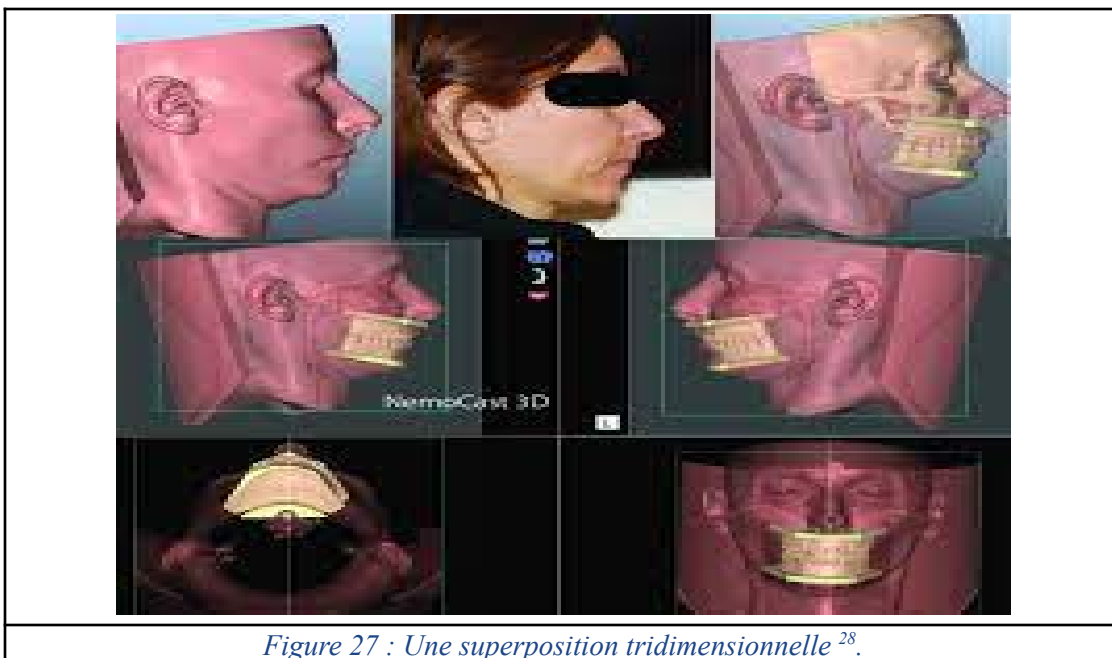


Figure 27 : Une superposition tridimensionnelle<sup>28</sup>.

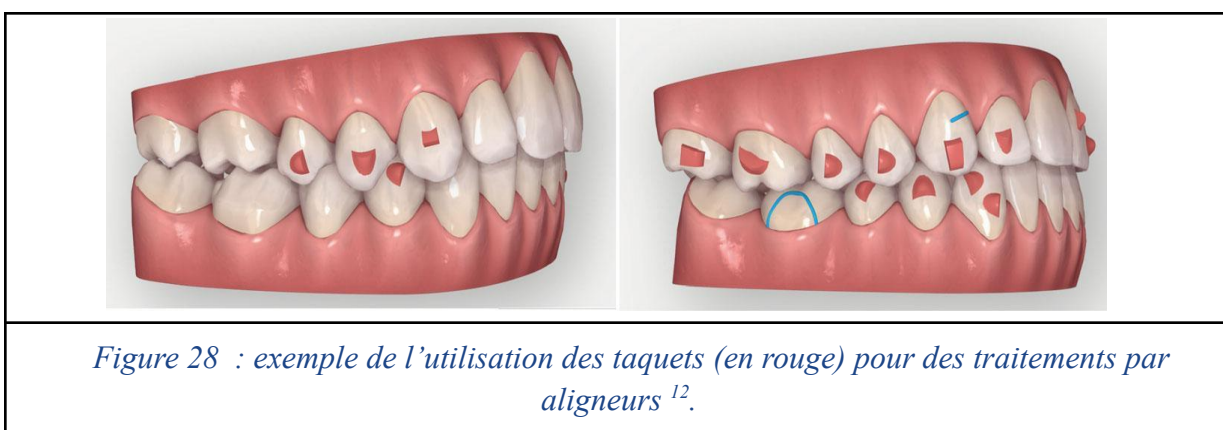
## 4. L'apport des techniques numériques en matière thérapeutique :

### 4.1. La simulation de traitement orthodontique : le set-up virtuel :

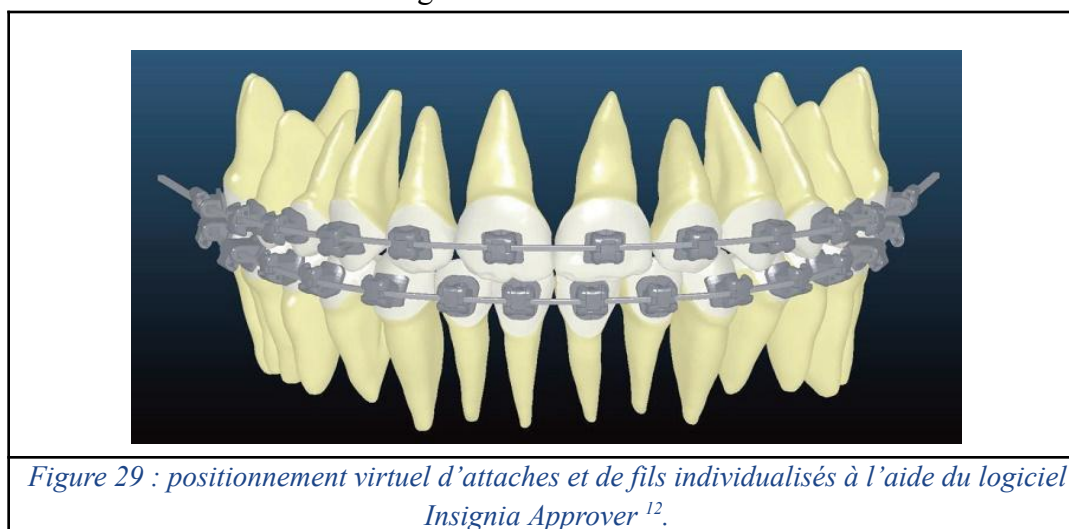
Plus qu'un outil de diagnostic, les set-up ont ensuite été utilisées pour « créer des traitements » et réaliser des dispositifs orthodontiques sur mesure. Ils sont au cœur de ces traitements, car c'est sur la construction d'un set-up numérique (déplacements dentaires et séquences de mouvement) de qualité que repose la réussite du traitement orthodontique.

Avec l'introduction des modèles digitaux, des Set-Up virtuels et des robots plieurs de fils, on a pu développer de nouveaux appareillages orthodontiques individualisés. On peut utiliser un Setup virtuel pour déplacer progressivement les dents dans une position déterminée.

Une série de modèles 3D imprimés peut alors être utilisée pour fabriquer une série d'aligneurs qui peuvent déplacer les dents progressivement, de façon séquencée, jusqu'à une position déterminée. C'est par exemple le cas avec la technique Invisalign. Des attachements définis par ordinateur peuvent être collés sur les dents pour accroître l'efficacité des aligneurs sur certaines dents. (Fig28).<sup>29</sup>



Le traitement avec brackets vestibulaires « bagues », ont aussi bénéficié de ces avancées numériques. Ils peuvent être aujourd'hui entièrement individualisés dans leur conception (individualisation des informations contenues dans la gorge du brackets) et les fils utilisés sont également réalisés sur mesure. C'est le cas du système Insignia par exemple (fig29) avec lequel il est possible de coupler une empreinte optique et une acquisition cone Beam permettant d'évaluer le parallélisme des racines, les épaisseurs osseuses ou le couloir alvéolaire afin de prévoir les mouvements non seulement en fonction des couronnes dentaires mais également des racines.<sup>12</sup>



Les techniques de brackets vestibulaires « bagues », ont aussi bénéficié de ces avancées numériques.

Ces nouvelles techniques ont changé en profondeur notre organisation au cabinet.. Elles demandent une phase initiale de « conception » plus précise et donc plus chronophage, mais ensuite les

rendez-vous d'activation des appareils sont plus espacés et courts. Il est possible d'encore optimiser la gestion du temps et des rendez-vous avec l'utilisation de dispositifs de monitoring à distance (surveillance de l'évolution du traitement à distance avec Smartphone) comme Dental Monitoring, avec lequel le patient est suivi chaque semaine grâce à des enregistrements vidéos qu'il réalise lui-même et qui sont analysés afin de surveiller au mieux l'évolution du traitement.<sup>12</sup> (fig 30-31)



*Figure 30 : projet thérapeutique sur Set-Up numérique Insignia Approver, avec l'état initial, l'état final, et la superposition des deux images <sup>12</sup>*



*Figure 31: vue clinique occlusale de l'état initial <sup>12</sup>*



*Figure 32: vue clinique occlusale en cours de traitement (notez le développement transversal et la rétraction des incisives <sup>12</sup>*

#### **4.1.1. La fiabilité de Set-Up :**

Dans l'étude de **BARRETO**, la fiabilité de la conception des set ups virtuels a été évaluée en effectuant des mesures de la distance inter-canines, inter-molaires, et de la longueur d'arcade maxillaire et mandibulaire sur set ups numériques et manuels. Il conclut que les Set-Ups numériques sont autant efficaces et précis que les set ups manuels et qu'ils constituent un outil de diagnostic et de traitement qui peut être reproduit efficacement dans les traitements orthodontiques.<sup>30</sup>

Dans sa publication, **CAMARDELLA** a conclu que les set ups virtuels et manuels sont égaux en termes de précision.<sup>31</sup>

**HOU** en 2020, a publié une étude dans laquelle il a démontré que la visualisation d'un set-up numérique peut faire changer un plan de traitement dans 24% des cas. Selon lui, leur utilisation est associée à un niveau de confiance plus élevé dans la confection et le choix du plan de traitement pour le praticien.<sup>32</sup>

#### **4.1.2. Réalisation de Set-Up :**

Il y'a sept étapes :

##### **➤ Choix de l'appareillage :**

- Tout d'abord, il faut sélectionner la forme d'arcade souhaitée. Celle-ci est déterminée par le type d'arc qui va être utilisé pour le traitement.
- Il existe un grand choix préprogrammé dans la boîte de dialogue et il est même possible de laisser le logiciel choisir la forme d'arcade la plus appropriée aux cas étudiés.

- Ensuite, il faut choisir le type de bracket et de tubes que l'on va utiliser pour le traitement.
- Le logiciel permet de créer ou d'importer le matériel s'il n'est pas référencé dans la liste d'OrthoCad.

➤ **Réglage des rapports incisifs :**

La seconde étape consiste au réglage des rapports incisifs, qui pourra être effectué ( soit en entrant les valeurs dans la boîte de dialogue) , soit en agissant directement sur les modèles numérisés.

➤ **Etape mandibulaire :**

Les étapes mandibulaire puis maxillaire permettent de terminer les arrangements intra arcade afin d'obtenir un alignement et un nivellement optimal. Il est possible de manipuler les dents grâce à la souris pour optimiser l'utilisation de l'espace disponible intra arcade sans modification de la position des incisives.

\*Dans le cas d'un traitement sans extraction:

On peut modifier la position des molaires en choisissant de les mésialer ou de les distaler, ou encore de ne pas les bouger (ancrage maximum).

\*Dans le cas d'un traitement avec extraction:

Le logiciel permet de simuler des extractions , et le choix des dents à avulser se fait via la boîte de dialogue. L'espace gagné s'affiche dans la boîte de dialogue.

➤ **Étape maxillaire :**

Cette étape est la même que celle décrite précédemment pour la mandibule.

➤ **Finition de la classe molaire :**

A ce niveau, l'ensemble du set-up est pris en considération. La boîte de dialogue affiche la position des molaires en comparaison à leur position initiale. Nous visualisons également leurs rapports, ainsi que la répercussion sur les contacts occlusaux. Il est possible de modifier tous les rapports dentaires si nous le voulons. Les modifications sont chiffrées dans la boîte de dialogue.

➤ **La largeur d'arcade :**

A cette étape, il est possible de visualiser les impacts du set-up sur la largeur d'arcade. On peut ainsi afficher dans la boîte de dialogue la différence entre les mesures de départ et les nouvelles mesures de la distance inter canine, intermolaires et de l'arcade dans son ensemble. Il reste tout à fait possible de modifier ces valeurs en agissant dans la boîte de dialogue.

➤ **La fermeture des diastèmes/espaces :**

Il s'agit de l'ultime étape, ou il est question de terminer l'intercuspidation. Cette étape est exécutée automatiquement grâce au logiciel, auquel il faut préciser de manière chiffrée la limite de déplacement des brackets sur les dents. Un occlusogramme s'affiche pour nous permettre d'apprécier les contacts occlusaux intermaxillaires.<sup>33</sup>

**4.1.3. Les autres fonctions possibles :**

- **Précision de la position des brackets :** Une fois l'appareillage est en place , il est possible d'affiner le positionnement d'un brackets. Nous avons ainsi la possibilité de corriger la position de chaque bracket (fig 33) .

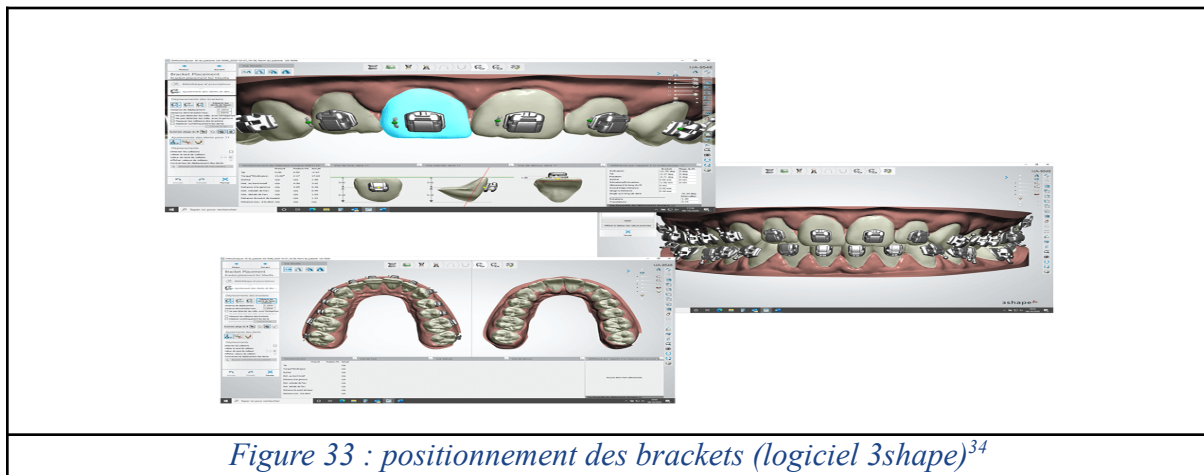


Figure 33 : positionnement des brackets (logiciel 3shape)<sup>34</sup>

- Individualisation de la forme d'arcade .
- Prise en compte de la troisième molaire.
- Aligement des brackets : Afin d'éviter toute interférence entre les appareillages maxillaires et mandibulaires.<sup>35</sup>

#### 4.1.4. Les limites et l'évaluation des set-ups numériques :

Si les set-ups numériques ont apporté des bénéfices majeurs aux traitements orthodontiques, il est important de noter que, sur un ordinateur, les mouvements dentaires sont illimités.

L'alignement et le nivellement dentaires peuvent être planifiés sur un écran d'ordinateur, mais le résultat peut être totalement inatteignable pour un patient spécifique. Bien évidemment, les dents ont des limitations biologiques.

C'est pourquoi trop d'expansion fig (34.36)... ou de contraction des arcades, comme pourrait le proposer un set-Up virtuel, pourrait aboutir à des résultats inadaptés, instables, et des récessions parodontales.<sup>36</sup>



Figure 34: projet thérapeutique avec expansion transversale importante, dépassant les capacités d'adaptation de la patiente; état clinique initial.

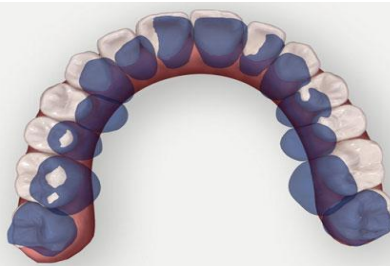


Figure 35: projet thérapeutique avec superposition de l'état initial (en bleu) et final.



Figure 36: état final, avec une mauvaise réponse biologique à la mécanique orthodontique<sup>12</sup>

Il en serait de même avec une rétraction incisive trop importante (par exemple fig. 37)

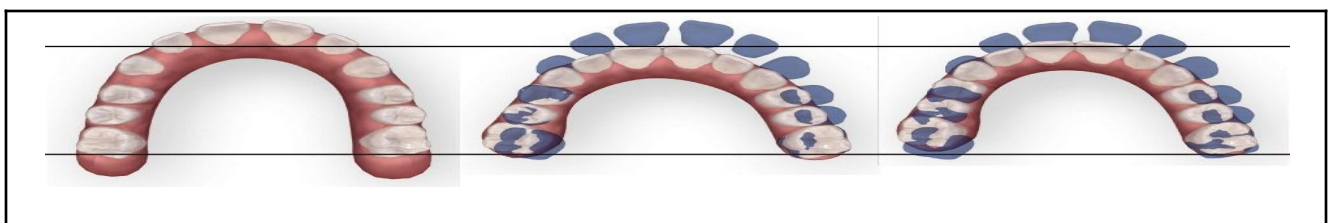


Figure 37 : fermeture d'espaces au maxillaire, le 1er Set-Up uniquement par rétraction antérieure, le 2ème Set-Up à moitié par rétraction antérieure et à moitié par mésialisation molaire<sup>12</sup>.

La validation du Set-Up digital est devenue une des étapes clés de notre pratique orthodontique, car toute la suite de traitement va dépendre des choix faits lors de set up (elle engage d'ailleurs notre responsabilité). L'occlusion finale du set-up ne constitue pas à elle seule un élément suffisant pour

valider la conception de l'appareillage. Il faut observer les mouvements qui conduisent à cette occlusion. Ces mouvements peuvent être réalisables uniquement grâce à l'appareillage demandés (attaches orthodontiques ou aligneurs) ou ils peuvent nécessiter l'utilisation d'auxiliaires (élastique, mini vis...) s'ils dépassent certaines limites. Ce choix se fait essentiellement en appréciant la quantité des mouvements réalisés sur clinique.

Dans Les traitements par aligneurs, il faut porter une attention toute particulière au séquençage des mouvements, c'est-à-dire à l'enchaînement de chaque déplacement. Certains mouvements fonctionnent très bien ensemble (expansion transversale et linguoversion des incisives par exp). Car ils engendrent la même déformation de l'aligneur. Il faut donc regrouper dans la même étape les mouvements qui se potentialisent, et reporter à une étape ultérieure ceux qui sont antagonistes. Il faut également observer la vitesse des déplacements dentaires. Il est possible d'accélérer un déplacement mais cela peut nécessiter l'utilisation d'auxiliaires de traitement .... Une discussion peut alors s'engager avec le patient sur la priorité entre rapidité ou confort de traitement.<sup>12</sup>

Enfin, l'orthodontiste peut disposer d'un logiciel qui permet de réaliser les set-ups directement au cabinet dentaire, sans intermédiaire d'une tierce personne grâce à l'intelligence artificielle et à l'aide d'algorithmes enregistrés.

## **4.2. Digital smile design esthétique et correction de sourire en orthodontie:**

### **4.2.1. Intérêt :**

Le protocole DSD permet de réaliser un diagnostic esthétique global en identifiant les dysharmonies des tissus durs et/ou mous et de discuter des options disponibles pour les corriger.

En plaçant les dents dans une position idéale pour obtenir un sourire en harmonie avec le visage du patient, le protocole DSD sert alors de projet thérapeutique et réalise une simulation de la réhabilitation finale.

Ce projet constitue un guide tout au long du traitement permettant d'optimiser la communication entre les différents praticiens intervenants :

- L'orthodontiste : où doit.t.il placer les dents pour un résultat esthétique satisfaisant en permettant au chirurgien- dentiste de réaliser les restaurations à minima ?
- Le chirurgien-dentiste :comment va.t.il réaliser les restaurations pour un succès esthétique ?
- Le parodontiste : comment va.t.il gérer les tissus mous ?

Cette planification du traitement permet à l'ensemble de l'équipe pluridisciplinaire d'identifier les défis en amont et ainsi de réduire le temps total de traitement. Ce projet esthétique ne dispense pas d'un set-up mais il sera évolutif et pourra être modifié au gré des consultations du patient chez les différents praticiens. Le protocole sera partagé instantanément via Internet entre tous les membres de l'équipe pluridisciplinaire qui auront un accès (dossier dropbox partagé, cloud ...) et pourront apporter des modifications de n'importe où et à n'importe quel moment de la journée.<sup>37</sup>

De plus, cette simulation illustre de manière concrète les différentes solutions du projet thérapeutique pour le patient, qui peut alors mieux comprendre chaque option et leur retentissement esthétique. Ceci permet d'augmenter sa compréhension, mais aussi son implication, sa motivation, sa mise en confiance et sa participation au traitement. Il donne son avis et peut suggérer des modifications. Est-ce que le projet prothétique coïncide avec ses attentes ? La présentation de la planification du traitement sera ainsi beaucoup plus efficace, le DSD facilite l'acceptation du patient en l'aidant à visualiser et à comprendre les traitements futurs.<sup>38</sup>

Enfin, ce protocole permet d'assurer une certaine prédictibilité. En effet, les mesures précises, prises en bouche et reportées sur l'ordinateur puis sur les modèles en plâtre, permettent un résultat prédictible si elles sont respectées par l'ensemble des intervenants.



## 4.2.2. Principe :

La grande majorité de ces principes esthétiques proviennent de la prothèse amovible complète.

### 4.2.2.1. Les lignes et les points de référence:

#### 4.2.2.1.1. Les références horizontales:

- La ligne bipupillaire, reliant les deux pupilles, est généralement prise comme plan de référence.
- La ligne bicommissurale relie les deux commissures.

Ces deux lignes seront utilisées comme référence pour la réhabilitation prothétique. Si la ligne bipupillaire n'est pas horizontale, on prendra comme référence la ligne bicommissurale

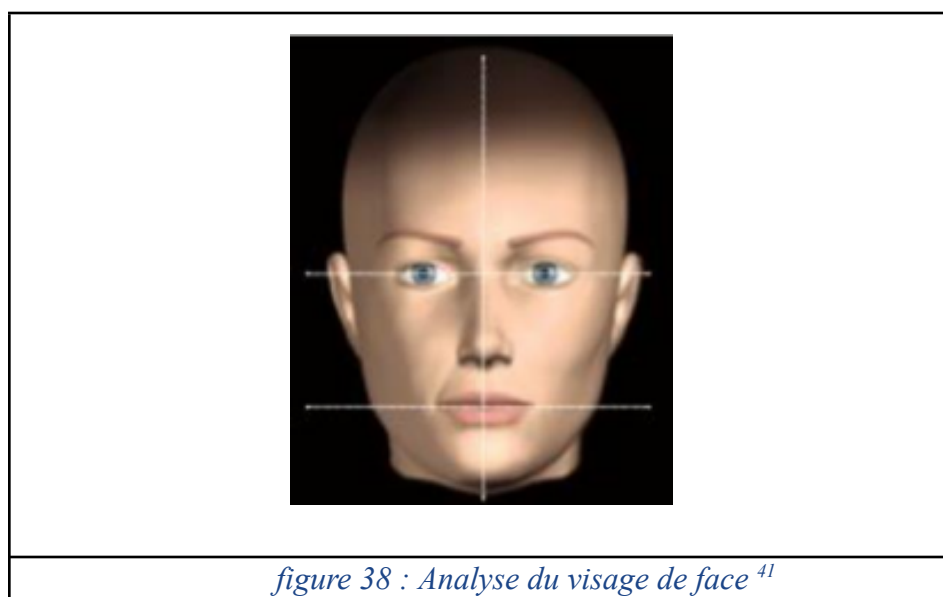
#### 4.2.2.1.2. Les Références verticales:

La ligne médiane passe idéalement par la glabella, la pointe du nez, le philtrum et le menton. La ligne reliant ces points donne la position de la ligne médiane du visage du patient mais aussi sa direction.

Si ces points ne sont pas alignés, le milieu de la lèvre supérieure (milieu du philtrum ou arc de cupidon) peut alors être utilisé comme référence idéale pour déterminer la ligne médiane du visage du patient. Cette ligne médiane est généralement le point de départ d'une réhabilitation esthétique. Le maintien de la verticalité de la ligne inter-incisive maxillaire est prioritaire sur l'alignement des lignes maxillaire et mandibulaire :

- Pour Kokich et coll.<sup>39</sup> une discordance entre la ligne médiane faciale et la ligne inter incisive maxillaire de 4mm n'est pas remarquée par les patients alors qu'elle l'est à partir de 2mm pour les dentistes.
- Alors qu'une ligne inter-incisive décalée ne provoque pas un fort impact visuel, au contraire, une inclinaison même très faible de celle-ci aura un impact esthétique fort.<sup>40</sup>

Plus les lignes décrites précédemment sont médianes et perpendiculaires, plus la face présente une harmonie globale. Chez la plupart des sujets présentant une asymétrie, la différence dimensionnelle entre les côtés droit et gauche est inférieure à 3 % (limite au-delà de laquelle l'irrégularité de la face devient évidente aux yeux de l'observateur)



*figure 38 : Analyse du visage de face <sup>41</sup>*

#### 4.2.2.2. Analyse dento-labiale:

##### 4.2.2.2.1. Exposition des dents en dynamique:

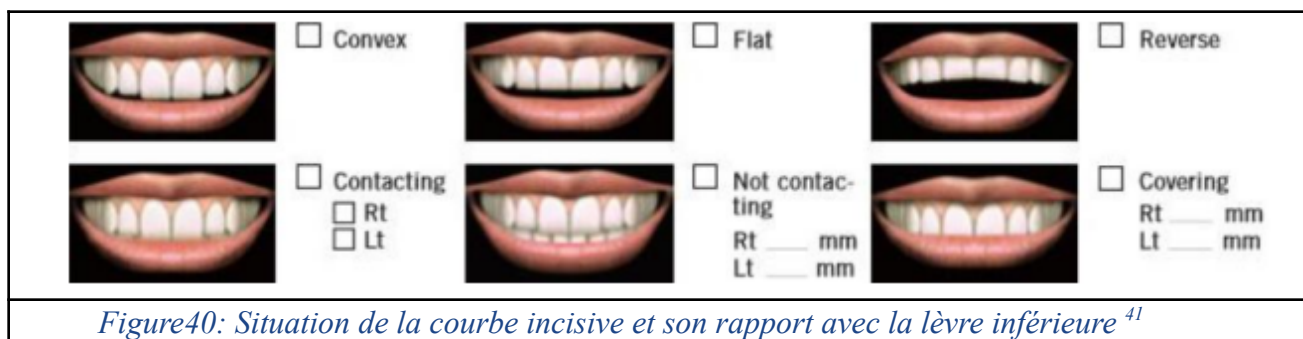
L'analyse visuelle se fait à partir d'un sourire naturel (et non forcé) et du mouvement des lèvres lors de l'élocution. Il est intéressant de réaliser une courte vidéo, plutôt qu'une photographie, en effet, la perception de l'esthétique en mouvement est différente de la vue statique.

Selon Vig et Brundo les incisives maxillaires des femmes sont en moyenne plus exposées que celle des hommes (3,4mm/1,91mm) et les patients plus jeunes que les patients âgés (3,37mm/1,26mm). Lors de la phase de réhabilitation, il faudra tester le sourire réhabilité avec un masque composite/résine pour valider l'esthétique, l'élocution et le guide antérieur.<sup>42</sup>



##### 4.2.2.2.2. La courbe incisive :

La courbe incisive observée de face est convexe et épouse la concavité naturelle de la lèvre inférieure pendant le sourire.



##### 4.2.2.2.3. Le profil incisif :

C'est la position des bords incisifs dans le sens antéro-postérieur à l'intérieur du bord interne de la lèvre mandibulaire (ou vermillon). Le profil incisif pourra être modifié par un jeu de torque ou de version coronaire par l'orthodontiste ou à l'aide de restaurations de type couronnes ou facettes par le chirurgien-dentiste afin de maquiller l'axe et donc la position des bords incisifs.

##### 4.2.2.2.4. La ligne du sourire :

Tjan et Miller définissent trois lignes du sourire :

- La ligne du sourire basse où moins de 75 % des dents antérieures sont exposées.
- La ligne du sourire moyenne où 75 à 100 % des dents antérieures sont exposées ainsi que les papilles gingivales inter-proximales.
- La ligne du sourire haute où la totalité des dents antérieures sont exposées ainsi qu'une bande de gencive plus ou moins haute. Un sourire esthétique découvre en général 1 mm de gencive. Lorsque plus de 3 mm de gencive sont exposés on parle de sourire gingival.<sup>43</sup>



#### 4.2.2.2.5. Le corridor buccal :

Il correspond à l'espace situé lors du sourire entre les faces vestibulaires des dents maxillaires et les commissures labiales. De légers corridors buccaux donnent généralement un sourire harmonieux.



#### 4.2.2.3. Les dimensions :

##### 4.2.2.3.1. Le nombre d'or :

Aristote a souligné l'importance des proportions en esthétique dès le 4<sup>ème</sup> siècle avant notre ère. Le nombre d'or a été décrit par les Pythagoriciens au 6<sup>ème</sup> siècle avant JC et peu après par Euclid, géomètre grec. Cependant, bien avant les grecs, ce sont les égyptiens qui ont trouvé en premier le  $\phi$  (« phi » = 1,618). Il a été utilisé dans l'architecture grecque ancienne mais aussi plus  $\phi$  nombre d'or, tard, dans les dessins d'anatomie humaine de De Vinci.

Le nombre d'or ou nombre divin représente un ratio de 1 : 1.618, c'est-à-dire, que la plus petite section est de 62 % de la taille de la plus grande section. Le ratio de la plus petite partie sur la plus grande partie équivaut au ratio de la plus grande partie sur l'ensemble ; c'est ce qui rend ce ratio unique.<sup>44</sup>

Le nombre d'or a été appliqué aux critères esthétiques faciaux puis en dentisterie pour fournir des recommandations mathématiques afin de créer un sourire esthétiquement satisfaisant, en passant par la détermination de la proportion idéale des incisives centrales, latérales et des canines dans le sourire.<sup>45</sup>

Levin a montré que la largeur de l'incisive latérale maxillaire correspond à une proportion d'or de la largeur de l'incisive centrale, de même pour la largeur de la canine en fonction de celle de l'incisive latérale en vue frontale. Il a également conçu une grille avec des espaces respectant les proportions d'or et a suggéré que cette grille devait être utilisée pour évaluer et créer des dents correctement proportionnées.<sup>46</sup>

Cependant, plusieurs auteurs ont observé que les dents naturelles d'un sourire harmonieux ne respectaient pas le nombre d'or. Lombardi a été le premier à appliquer le nombre d'or en dentisterie, mais aussi le premier à discuter de ces proportions sur les dents antérieures.<sup>47</sup>

Il conclut que la stricte application du nombre d'or a ses limites et que des variations sont nécessaires.

Selon Preston, l'utilisation du nombre d'or dans la création d'un sourire rend l'arcade maxillaire trop étroite et entraîne une compression des secteurs latéraux. Selon son étude, il trouve que les dents naturelles sont rarement dans les proportions d'or. Il trouve d'ailleurs un ratio récurrent de 0.66 entre l'incisive centrale et la latérale et un ratio de 0.84 entre la latérale et la canine.<sup>48</sup>

Ces ratios sont retrouvés de manière récurrente dans la littérature et sont utilisés aujourd'hui. Rosenstiel et coll. ont généré des images sur ordinateur des 6 dents antérieures avec des ratios différents ; ces images ont été envoyées à des dentistes de différents pays. Les résultats montrent que les dentistes préfèrent la proportion d'or quand il s'agit de grandes dents, mais qu'ils la considèrent comme moins harmonieuse quand il s'agit de dents de taille normale ou de petite taille.<sup>49</sup>

En conclusion, le standard « nombre d'or » fonctionne pour la détermination du ratio de l'incisive centrale supérieure, mais dans la majorité des cas n'est pas représentatif d'un sourire harmonieux quand on l'utilise pour déterminer les proportions successives de centrale à latérale puis à canine.<sup>50</sup>

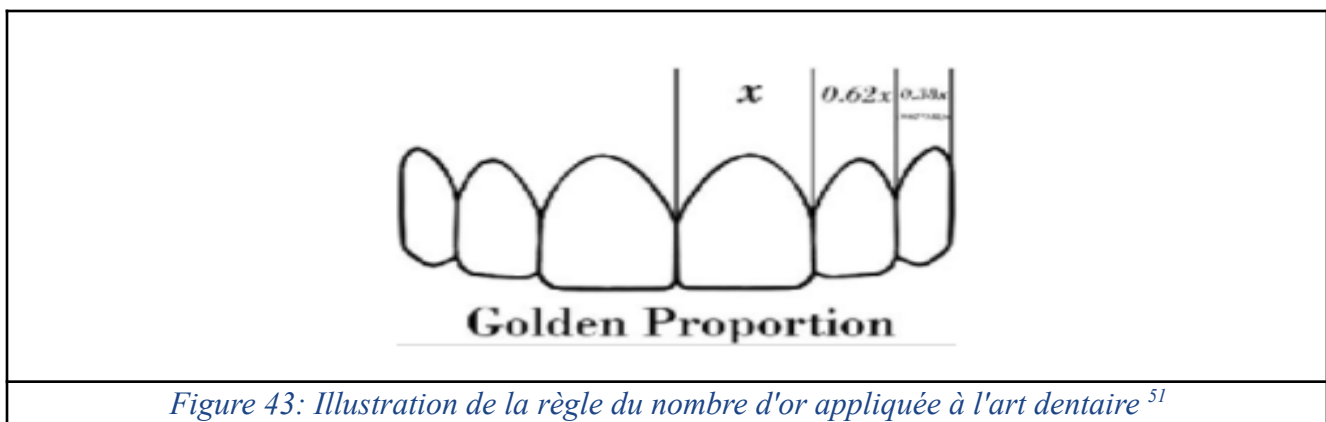


Figure 43: Illustration de la règle du nombre d'or appliquée à l'art dentaire <sup>51</sup>

#### 4.2.2.3.2. RED proportion :

De nos jours, le nombre d'or n'est plus utilisé, on lui préfère les proportions RED pour Recurring Esthetic Dental Proportion. Les proportions RED (proportion dentaire esthétique récurrente) évaluent les largeurs successives des dents antérieures maxillaires vers le distal et montrent que cette proportion reste constante, dans le plan frontal. Autrement dit, l'apparente largeur de chaque dent diminue avec la même proportion quand on progresse distalement .<sup>52</sup>

C'est un guide précieux pour l'élaboration d'un sourire en harmonie avec le visage du patient. La majorité des études sur les proportions dentaires en vue frontale ont conclu que la largeur idéale d'une incisive centrale est d'environ 80 % de sa longueur.<sup>53</sup>

Selon Fradeani, la proportion idéale de l'incisive centrale est aussi de 80 %, avec une moyenne acceptable comprise entre 70 et 90 %. Au delà de 90 % la dent apparaît trop courte et large, en deçà de 70 %, celle-ci paraîtra trop long et étroite .<sup>54</sup>

Le ratio de l'incisive latérale est ensuite déterminé par 0,66 celui de l'incisive centrale. Et celui de la canine par 0,84 celui de l'incisive latérale. Dans tous les cas, avec le temps et l'attrition, le ratio aurait tendance à augmenter.

On retiendra que dans le plan frontal : si les centrales ont un ratio « z », les latérales seront « z\*0,7 » et les canines « z\*0,5 ». La proportion de l'incisive centrale idéale est comprise entre 75 et 85 % avec une marge de tolérance de 5 % qui permet de donner une moyenne comprise entre 70 et 90 %

#### 4.2.2.4. La forme des dents :

L'étude des formes des dents en fonction du visage a particulièrement été évaluée en prothèse amovible partielle ou complète.

Plus récemment, a émergé le concept du visagisme. Le visagisme (issu du mot « visage » en français), principalement développé par l'artiste Philip Hallawell, correspond à la création d'un sourire en accord avec la personnalité du patient.

La conception d'un sourire n'a pas pour unique objectif de rendre un sourire attractif, il doit aussi correspondre à la personnalité du patient et à ses caractéristiques physiques, c'est « l'harmonie psycho-dentofaciale ».

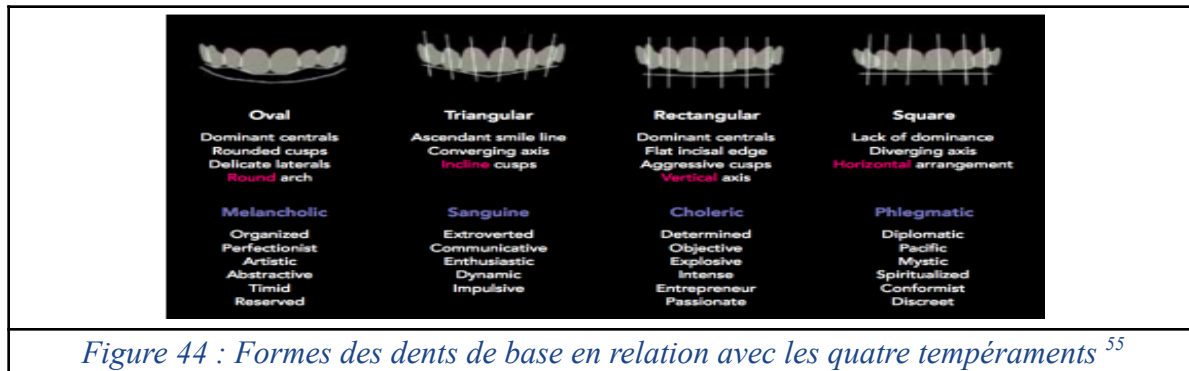
Selon Hippocrate, la personnalité d'un individu est déterminée par la combinaison de quatre types de tempéraments : mélancolique (sensible), sanguin (dynamique), colérique (fort) et flegmatique (calme) .<sup>55</sup>

Les formes des dents ont un impact esthétique et émotionnel, elles sont généralement associées à ces tempéraments :

Les formes ovales sont généralement associées au sexe féminin. Elles correspondent à un tempérament mélancolique, sensible, réservé. Les limites externes sont courbes et arrondies en incisif et en cervical, ce qui engendre un collet et un bord libre plus étroits.

Les formes triangulaires sont associées à un tempérament sanguin, dynamique, extraverti. Les limites externes de la face vestibulaire divergent en incisif, ce qui engendre un collet plus étroit.

Les formes rectangulaires dominent dans les tempéraments colériques, explosifs, intenses. Les formes carrées sont généralement associées au sexe masculin. Elles correspondent à un tempérament flegmatique, calme, pacifique. Les limites externes sont plus ou moins droites et parallèles.



#### 4.2.2.5. Analyse gingivale :

L'esthétique de la gencive a toujours été un élément important composant un sourire harmonieux. Selon l'étude de Stephen J. Chu :

- La ligne des collets gingivaux doit être parallèle aux bords incisifs et à la lèvre inférieure, Cette ligne est considérée comme esthétique si les collets des incisives latérales sont coronaires (d'environ 1 mm) à la tangente aux collets de l'incisive centrale et de la canine.
- Le zénith (point le plus apical de la collerette gingivale marginale) de l'incisive centrale doit se situer 1 mm en distal de l'axe de la dent et environ 0,4mm pour l'incisive latérale. Pour la canine, le zénith est aligné à la ligne médiane verticale.

Si la ligne des collets a besoin d'être modifiée nous disposons de plusieurs moyens :

- L'ingression orthodontique ainsi que la gingivectomie vont permettre de remonter la ligne des collets. Notons que la gingivectomie entraînera une augmentation relative de la longueur de la dent concernée.
- L'égression orthodontique ainsi que la greffe gingivale vont permettre de descendre cette ligne des collets.<sup>56</sup>



La présence de papilles inter-dentaires est également importante pour l'esthétique du sourire. Les trous noirs observés au niveau inter-dentaire rendent le sourire disgracieux. Tarnow et coll. ont constaté que la distance entre le point de contact et le sommet de la crête osseuse en inter-proximal doit être égale ou inférieure à 5 mm pour que la papille inter-dentaire soit présente dans près de 100 % des cas.<sup>57</sup>

Pour une distance de 6 mm, la papille serait présente dans 56 % des cas et pour une distance de 7 mm, la papille serait présente dans seulement 27 % des cas. En raison de la variété de la nature, l'esthétique dentaire ne peut pas être entièrement justifiée mathématiquement. Tous les individus ne devraient pas être standardisés de la même manière.

Bien que nous, dentistes, devrions suivre certaines lignes directrices fondamentales dans la planification du traitement esthétique, il faut reconnaître que l'esthétique varie beaucoup d'une personne à l'autre.

Il est donc important de tenir compte des spécificités dento-faciales de chaque individu et de la grande variété de proportions de dents naturelles lors de nos traitements. De plus, certaines caractéristiques ethniques doivent être considérées.

### 4.2.3. Description du protocole DSD dans le plan frontal :

Le protocole DSD peut être réalisé sur les logiciels de présentations comme Keynote ou Microsoft PowerPoint.

Le DSD complet nécessite 6 photographies :

- Une photo exobuccale avec écarteur.
- Une photo exobuccale sourire naturel .
- Une photo occlusale de l'arcade maxillaire.
- Une photo de profil sourire, afin de visualiser la position du bord libre de l'incisive maxillaire par rapport à la lèvre inférieure
- Une photo de profil au repos.
- Une photo à midi.

Le DSD pour les vues frontales peut se résumer à deux photographies : une photographie exobuccale avec un sourire naturel et une photographie exobuccale avec écarteur. Une courte vidéo est aussi recommandée au cours de laquelle le patient explique ses préoccupations et ses attentes. Cette vidéo permet de capturer la dynamique du sourire et de nombreuses photos peuvent être extraites de la vidéo. De plus, l'enregistrement d'une vidéo donne davantage d'informations que la capture d'une ou plusieurs photos. <sup>58</sup>

Le protocole se déroule de la manière suivante :

**La croix** : deux lignes sont placées en croix au centre de la diapositive du logiciel de présentation utilisé, la photographie exobuccale de face avec sourire est positionnée derrière ces lignes (Figure 46).<sup>59</sup>

**Arc facial numérique** : placer la photo exobuccale sur la ligne horizontale de référence est l'étape la plus importante de la conception du sourire numérique.

La ligne bipupillaire est la ligne de référence pour le plan horizontal (on peut y ajouter la ligne bicommissurale). Après avoir déterminé la ligne de référence horizontale, la ligne médiane du visage est définie en fonction des caractéristiques faciales telles que la glabella, le nez et le menton ou encore le milieu du philtrum (Figure46 ).<sup>59</sup>

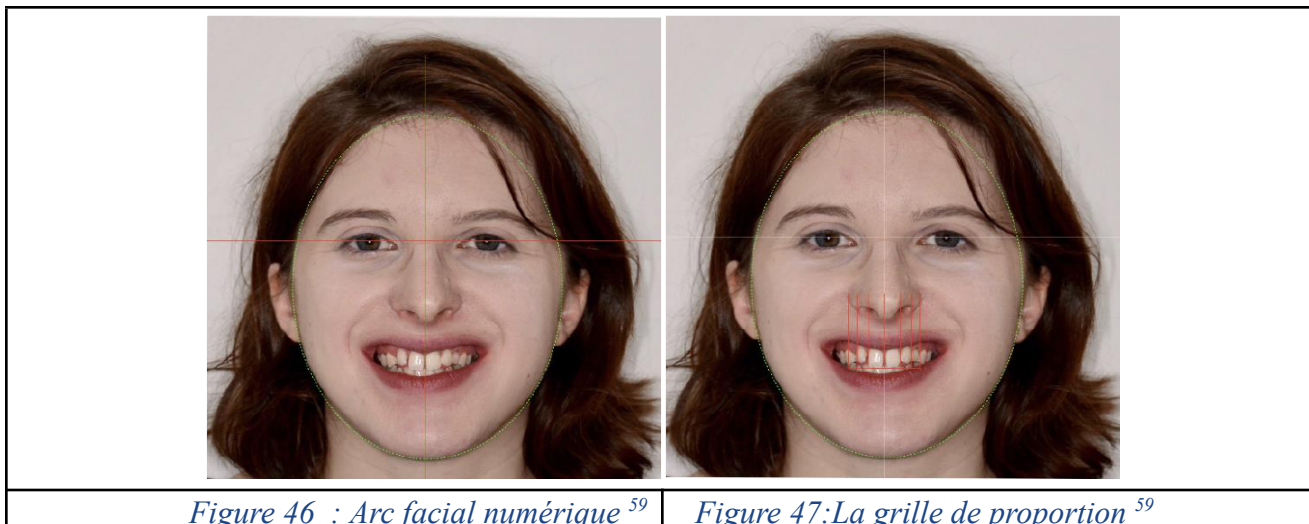
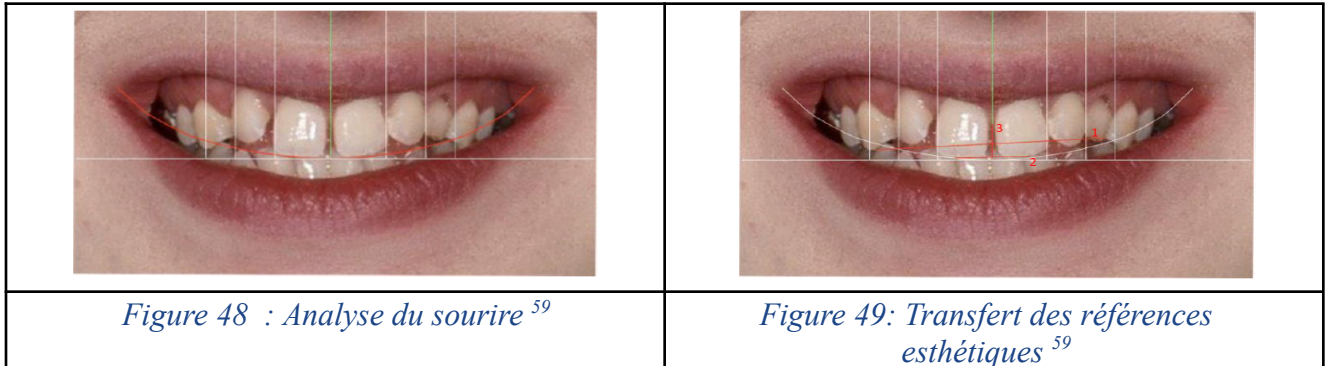


Figure 46 : Arc facial numérique <sup>59</sup>

Figure 47:La grille de proportion <sup>59</sup>

**La grille de proportion** : elle correspond aux proportions esthétiques choisies respectant la proportion « RED ». La grille de proportion est placée sur la ligne inter incisive et la largeur peut être modulée en fonction du patient. On prend généralement la face distale des canines correspondant aux ailes du nez et au coin interne des yeux ( fig 47) .<sup>59</sup>

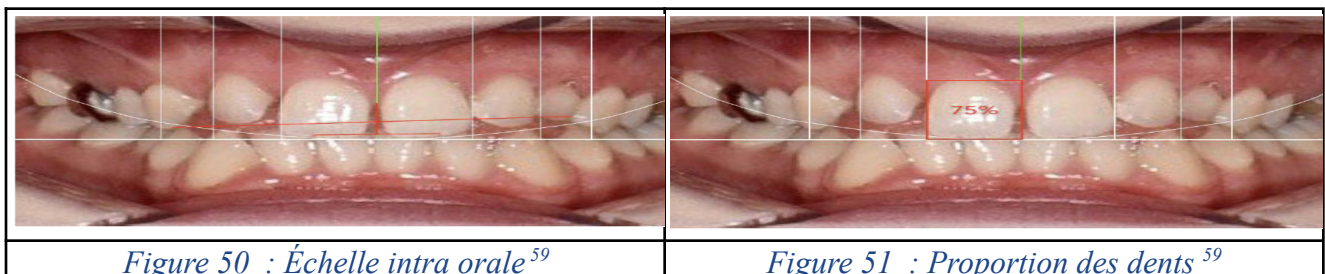
**Analyse du sourire** : nos références faciales étant reportées à l'échelle du sourire, le reste du visage ne nous intéresse plus. Le regroupement des lignes et de la photographie permet au clinicien de zoomer sur l'image sans perdre les références tracées. On obtient ainsi les références esthétiques faciales (la croix) à l'échelle du sourire. On peut alors analyser les relations entre ces lignes, les dents, les lèvres et la gencive. La ligne du sourire est alors dessinée, parallèle à la lèvre inférieure, elle passe par les bords libres des incisives centrales ( figure 48)<sup>59</sup>



**Transfert des références esthétiques à l'échelle intra-orale** : on veut maintenant disposer de ces références esthétiques faciales à l'échelle intra-orale sur la photo du sourire rétracté (Figure 53 ). La croix va être transférée à la photographie rétractée en utilisant trois lignes de transfert dessinées sur la vue du sourire comme suit (Figures 48et 49) :

- Ligne 1 : de la pointe d'une PM à l'extrémité de la PM controlatérale.
- Ligne 2 : du milieu du bord incisif d'une incisive centrale au milieu du bord incisif de l'incisive centrale controlatérale.
- Ligne 3 : sur la ligne médiane dentaire, de l'extrémité de la papille interdentaire médiane à l'embrasure incisive

Il est nécessaire de calibrer quatre caractéristiques sur la photographie : la taille, l'inclinaison, la position du bord incisif et la position de la ligne médiane. La ligne 1 guidera les deux premiers aspects (taille et inclinaison), la ligne 2 guidera la position du bord incisif et la ligne 3 guidera la position médiane.<sup>59</sup>



**Mesure de la proportion des dents** : la mesure de la proportion largeur / longueur des incisives centrales est la première étape vers la compréhension de la meilleure façon de redessiner le sourire. Un rectangle est placé sur les bords de l'incisive centrale. Les proportions des incisives centrales du patient peuvent être comparées aux proportions idéales décrites dans la littérature, comme mentionné précédemment. Ici, notre patiente présente un ratio l/L de l'incisive centrale de 67 %, la moyenne de ce ratio étant comprise entre 75 et 85 %, nous choisissons un nouveau ratio correspondant à la moyenne basse .75 %. pour rester dans les proportions de la patiente (Figure 51).<sup>59</sup>

**Forme de la dent** : à partir de cette étape, tous les dessins peuvent être réalisés. Des contours des dents peuvent être dessinés sur la photographie, ou des contours de dents préfabriqués peuvent être copiés et collés. Le choix de la forme de la dent dépendra de facteurs tels que l'entretien morphopsychologique, les désirs du patient, les traits du visage et les attentes esthétiques. Nous avons choisi des dents ovalaires, féminines, pour cette patiente (Figure 52).<sup>59</sup>

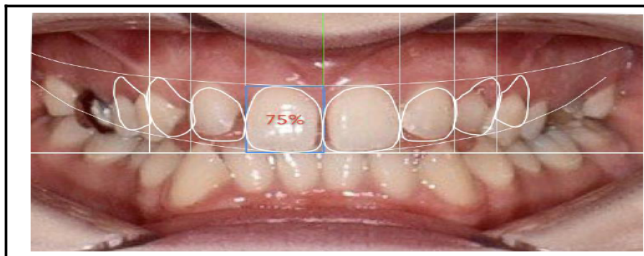


Figure 52 : Forme des dents et ligne gingivale <sup>59</sup>

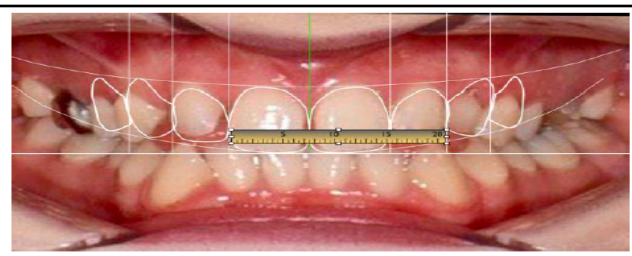


Figure 53: Calibrage de la règle numérique <sup>59</sup>

**Évaluation esthétique dento-gingivale** : analyse des relations entre les tissus mous et les dents. La ligne gingivale est dessinée au niveau des collets des nouvelles incisives centrales modifiées. L'inclinaison de la courbe au niveau des secteurs postérieurs est choisie de façon à créer des relations harmonieuses entre cette courbe et la lèvre supérieure (Figure 52).

**Calibrage de la règle numérique** : la règle numérique peut être calibrée sur la photographie intra-orale en mesurant la longueur en bouche du bord distal de la 11 au bord distal de la 21. Cette mesure est transférée à l'ordinateur. Une fois la règle numérique calibrée, le clinicien peut effectuer toutes les mesures nécessaires sur la zone antérieure de l'image (Figure 53).

- En cervical : on mesure la distance entre la ligne des collets idéale et la dent naturelle (évaluer l'indication d'une éventuelle gingivectomie) .
- En occlusal : on mesure la distance entre le bord libre de la dent naturelle et le bord libre de la dent idéale (indique de combien il faut rallonger la dent). <sup>59</sup>

Le DSD en vue occlusale se réalise à partir du DSD en vue frontale, en prolongeant la grille interdentaire sur la photographie en vue occlusale, comme ci-dessous.

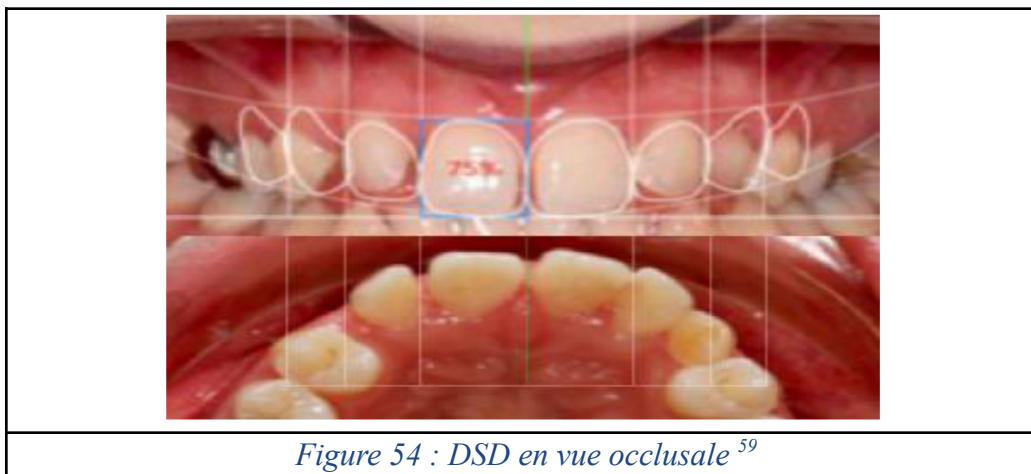


Figure 54 : DSD en vue occlusale <sup>59</sup>

L'utilisation d'un outil numérique améliore la communication entre les différents acteurs (patients, cliniciens, laboratoire) et devient une technique commune indispensable pour les réhabilitations esthétiques.

De plus, le DSD est une technique simple qui ne requiert pas d'équipement spécifique ni de logiciel spécifique pour sa mise en œuvre, uniquement de l'entraînement et de la manipulation.

Grâce à l'empreinte optique et certains logiciels de modélisation 3D, le projet 2D est désormais transférable en projet 3D. Le fichier .stl pourra alors être envoyé vers n'importe quel logiciel orthodontique (Invisalign, Win, Incognito ...). La fabrication de gouttières ou d'appareillages multi attaches dictée par le projet DSD est alors réalisable. Le DSD 2D devient alors un DSD 3D.

#### 4.2.3.1. Discussion et limites du DSD :

➤ Un investissement : temps et financier:

Le protocole DSD nécessite du temps. Un praticien débutant nécessitera entre 30 minutes et une heure, le praticien expérimenté peut réaliser ce protocole en une dizaine de minutes.



➤ Un protocole dépendant de la prise de photographies de qualité :

Afin de réaliser des planifications les plus précises possibles et au plus proche du résultat final, la qualité des photographies influe grandement, une légère angulation ou déviation de la tête du patient peut entraîner un rendu erroné dans le plan frontal.

➤ Analyse sensible aux modifications du temps :

Le protocole DSD est utilisé surtout chez le patient adulte stable. Il peut être utilisé chez les adolescents ou les enfants plus jeunes mais il existe une maturation dento-parodontale et une croissance verticale qui peut modifier le rendu final. Le premier DSD permettra de poser un diagnostic et de dégager un plan de traitement, cependant il devra être réalisé à nouveau, après le traitement orthodontique et juste avant la phase prothétique.<sup>59</sup>

De même, en cas de chirurgie orthognathique, le DSD peut être fait avant la chirurgie pour avoir une idée des modifications à apporter mais il doit être refait avant la phase prothétique car il est sensible aux modifications faciales.

➤ Analyse limitée à une seule arcade :

Ces prévisualisations numériques restaient jusqu'à encore très récemment uniquement en 2 dimensions. L'analyse des rapports inter-arcades, notamment du surplomb, est impossible sur un DSD en 2 dimensions. Le DSD en 3 dimensions voit tout juste le jour.

L'arcade maxillaire est faite pour avoir des contacts homogènes et harmonieux avec son arcade antagoniste.

L'augmentation du volume des couronnes des dents maxillaires pour raison esthétique peut entraîner un surplomb antérieur. Ce phénomène aura lieu dès lors que la DDD sera moins importante que la dysharmonie dento-faciale du patient. En d'autres termes, le patient peut avoir des petites dents maxillaires d'un point de vue esthétique mais associé aussi de manière plus ou moins harmonieuse à de petites dents mandibulaires. Sans le DSD en 3 dimensions, il faut obligatoirement valider le projet esthétique idéal que représente le DSD 2D avec l'occlusion obtenue sur le set up afin de trouver un compromis entre esthétique et occlusion.<sup>59</sup>

➤ Le cadre juridique :

Dans le cadre juridique, les chirurgiens-dentistes ont une obligation de moyens et non une obligation de résultats. Il est conseillé de ne pas donner ni montrer le projet virtuel sur ordinateur au patient. Ce projet virtuel servira à l'équipe pluridisciplinaire pour les décisions en amont. Le patient sera intégré dans le projet à l'étape du mock-up ou « masque en résine ». C'est à ce moment-là qu'il pourra donner son avis sur le projet et demander des modifications s'il le souhaite.<sup>59</sup>

### **4.3. CFAO appareil orthodontique :**

#### **4.3.1. Définition et généralité :**

Le sigle CFAO signifie Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur. En odontologie, on définit la CFAO par l'ensemble des équipements et techniques nécessaires de la modélisation à la fabrication d'un dispositif médical sur mesure<sup>60</sup> : bague sur mesure , attelle de contention ,barre lingual,monobloc, quadhelix ,prothèse fixée ou amovible , guide chirurgical.<sup>61</sup>

#### **4.3.2. la Composition de CFAO:**

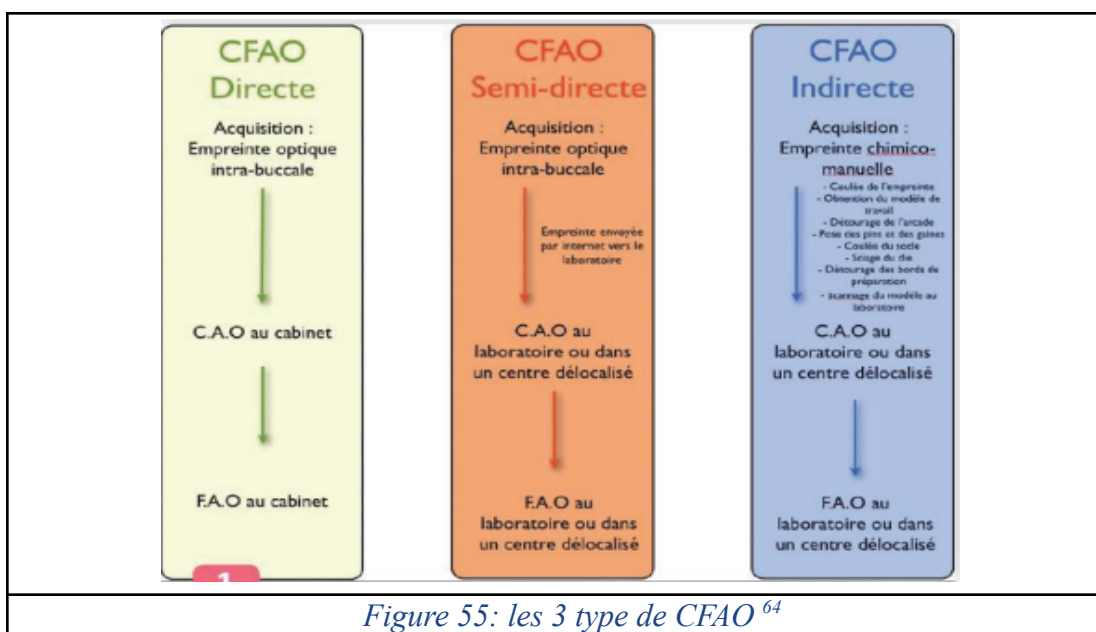
- La CFAO est une combinaison de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur).
- La CAO permet de concevoir virtuellement en 3D, à l'aide de logiciels spécialisés, le projet prothétique.
- La FAO quant à elle va matérialiser ce travail prothétique à l'aide de machine outil pilotée par un ordinateur ayant les données enregistrées de la CAO.<sup>62</sup>

### 4.3.3. Les techniques de la CFAO:

Il existe 3 techniques de CFAO : la CFAO directe, semi directe et indirecte. On les différencie en fonction :

Du type d'empreinte : elle peut se faire par empreinte optique intra orale à l'aide d'une caméra optique ou par une empreinte chimico manuelle traditionnelle à l'aide de matériaux d'empreinte (alginate, silicone)

Du lieu de conception et de fabrication qui peut se faire soit directement au fauteuil par le praticien soit au laboratoire de prothèse.<sup>63</sup>



#### 4.3.3.1. La technique directe:

La CFAO directe est, à ce jour, une technique faisant partie intégrante de l'arsenal thérapeutique du praticien. Elle permet de restaurer prothétiquement une dent en une seule séance. Le praticien réalise une empreinte à l'aide d'une caméra numérique (scanner), cette empreinte est directement traitée et la pièce prothétique modélisée. La pièce est ensuite fabriquée sur place. Cette technique est principalement utilisée dans des cas de couronne unitaire, d'inlay ou d'onlay.<sup>65/66</sup>

#### 4.3.3.2. La technique semi directe:

En CFAO semi direct, la conception et la fabrication sont réalisées au laboratoire. Le praticien va prendre une empreinte numérique qui sera transférée au laboratoire puis traitée par ce dernier. Le praticien bénéficie du savoir-faire, des machines outils et des dernières techniques du prothésiste et s'ouvre ainsi à de nombreuses indications plus complexes telles que les bridges, les PAPIM, les restaurations esthétiques stratifiées, etc... Cette technique permet de s'affranchir de l'utilisation de matériaux d'empreinte souvent à l'origine de contrainte pour le patient, tel que le réflexe nauséux, tout en bénéficiant d'une excellente précision et qualité d'empreinte.<sup>67</sup>

#### 4.3.3.3. La technique indirecte:

En CFAO indirecte, CAO et FAO se font également au laboratoire cependant le praticien réalise au cabinet dentaire une empreinte physico-chimique. Cette technique impacte directement les techniques de travail du prothésiste qui, une fois l'empreinte coulée, doit scanner le modèle obtenu pour pouvoir la modéliser sur ordinateur et commencer la réalisation numérique du travail. Les données sont ensuite transmises à une machine d'usinage qui fabrique la pièce prothétique.<sup>67</sup>

#### 4.3.4. La conception assistée par ordinateur (CAO) :

L'objectif du laboratoire, avant de débiter la CAO, est d'obtenir un modèle de travail sous forme de fichier numérique.

- Soit le praticien réalise une empreinte physique (technique indirecte).
- Soit il réalise une empreinte numérique : les fichiers exportés sont pour la plupart au format .stl. Exception faite pour certaines suites logicielles qui autorisent le transfert d'un fichier au format propriétaire permettant de transmettre davantage de données.

Les étapes de conception de la pièce orthodontique sont sensiblement les mêmes qu'elle soit faite traditionnellement ou numériquement. Le logiciel offre cependant un gain de temps et la suppression des tâches fastidieuses.

Dans un premier temps, on détermine l'axe d'insertion grâce au paralléliseur numérique. Le logiciel nous indiquera ensuite les contre-dépouilles présentes sur le modèle à l'aide d'un code couleur variant en fonction de l'importance de celle-ci.<sup>68</sup>

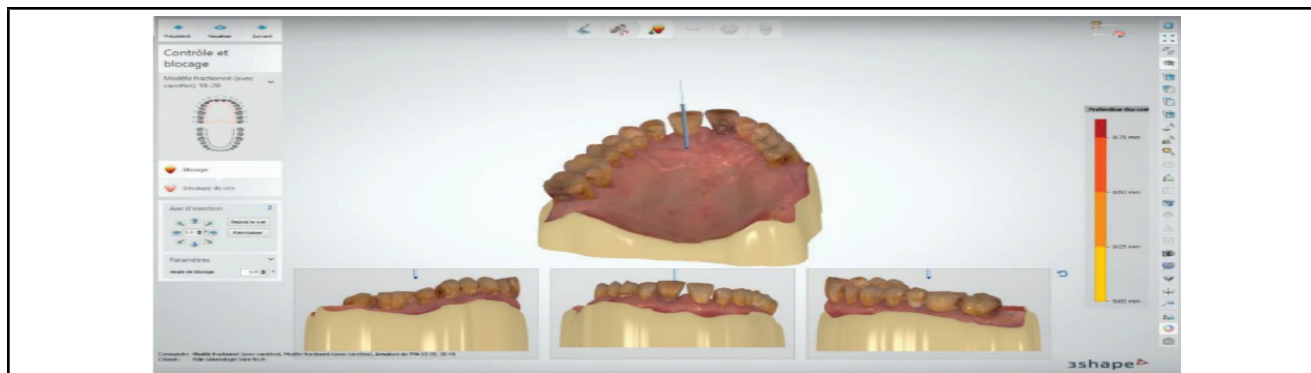


Figure 56 : Détermination de l'axe d'insertion (3Shape Dental System, Dental Concept Méditerranée) Les contre-dépouilles sont comblées et un espace est aménagé pour permettre de placer le bras de rétention des crochets<sup>69</sup>



Figure 57 : Suppression des excès de cire de comblement (3Shape Dental System, Dental Concept Méditerranée)<sup>69</sup>

Ensuite tout autre élément peuvent être mis en place : quadhelix ; grille anti langue ; arc lingual ; bague ; arc .....

L'opérateur peut intervenir sur le diamètre et l'épaisseur des différents éléments.

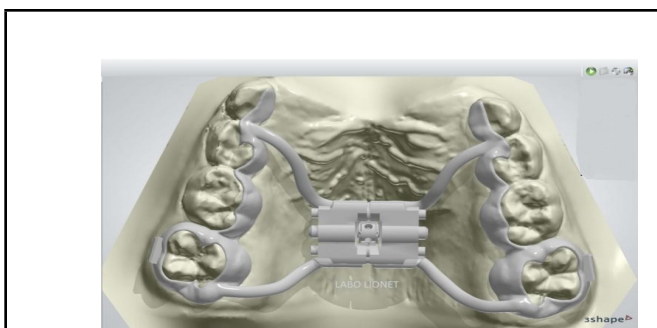


Figure 58 : La conception de disjoncteur (laboratoire lionet)<sup>34</sup>

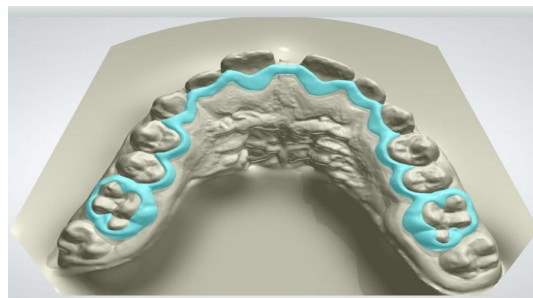
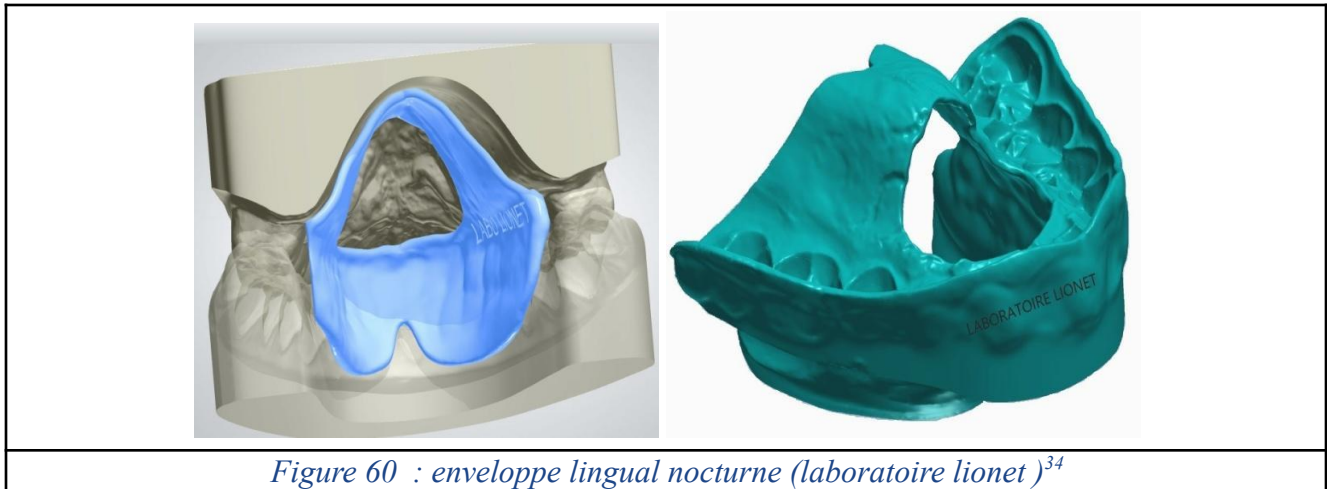


Figure 59 : La conception d'arc palatin (laboratoire lionet)<sup>34</sup>

la conception des orthèses de correction de cl II et cl III ( monoblocs ;twin block , bielles de herbst ....)  
Faites sur une empreinte scannée en propulsion.



Une fois terminé, des finitions sont apportées afin d'unir tous les éléments entre eux (liaison des éléments, lissages, fusions de formes).

#### **4.3.5. La fabrication assistée par ordinateur (FAO):**

Dernière étape de la CFAO, la fabrication assistée par ordinateur. Elle correspond à l'interface entre CAO et la machine outil à commande numérique. La FAO permet de réaliser deux opérations:

La préparation de la fabrication en fonction du matériau utilisé et de la procédure de mise en forme.

Créer les séquences de mise en forme d'une ou de plusieurs maquettes numériques à fabriquer simultanément.<sup>70</sup>

##### **4.3.5.1. Les techniques de fabrication:**

Il existe deux types de fabrication : la fabrication additive et la fabrication soustractive.

##### **4.3.5.1.1. La fabrication par technique additive:**

La fabrication additive consiste en la mise en forme d'un objet par ajout de matière par empilement de couches successives. L'avantage principal de cette technique est la production simultanée de pièces de morphologies différentes et de formes complexes. La pièce est formée directement, sans passer par un moule ou par usinage d'un bloc, on parle alors de « Fabrication directe ».

Ces machines, en plus de nécessiter un savoir faire et un espace de stockage important, ont un prix très élevé. Elles sont donc principalement réservées aux laboratoires ou centres d'usinage.<sup>71</sup>

##### **4.3.5.1.1.1. L'impression 3D :**

L'impression 3D se déroule sur un plateau. Des buses d'impression se déplacent sur un plan horizontal et projettent sélectivement un matériau de construction. La pièce est réalisée par addition de couches successives.

A chaque dépôt de couche, le plateau descend de la valeur de l'épaisseur de la couche suivante. L'impression 3D peut se faire de deux façons :

- Par injection simultanée de cires durcies par chauffe.
- Par injection de résine photosensible liquide durcit par polymérisation UV.

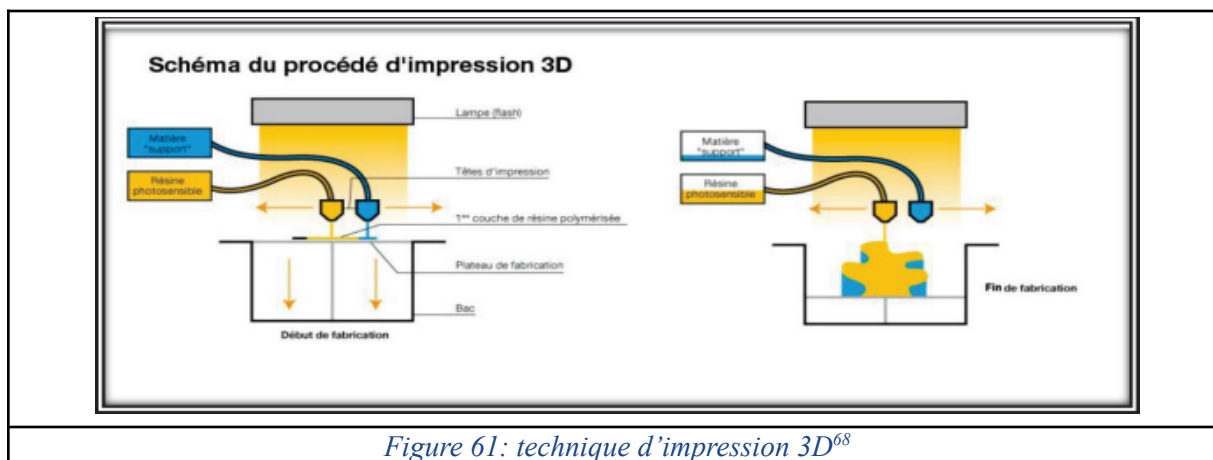


Figure 61: technique d'impression 3D<sup>68</sup>

#### 4.3.5.1.1.2. La stéréolithographie :

Le logiciel de FAO va venir découper virtuellement l'objet en strate et créer une image de chaque strate. L'objet en cours de fabrication est immergé dans une cuve de résine liquide photosensible sur une plateforme horizontale. L'image bitmap d'une strate est projetée à la surface du bain de résine et se polymérise. Le plateau va ensuite monter (ou descendre) de l'épaisseur d'une strate (de 25 à 150 microns) pour réaliser la seconde strate. Ce processus est répété jusqu'à obtention de l'objet fini.<sup>60</sup>

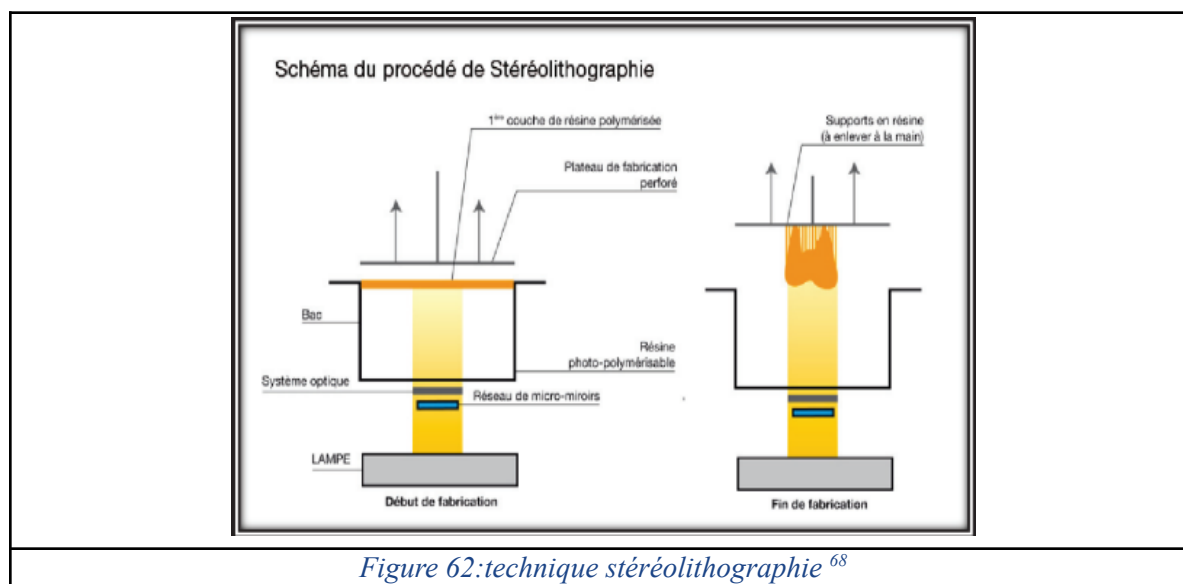


Figure 62: technique stéréolithographie<sup>68</sup>

#### 4.3.5.1.1.3. La micro-fusion de poudre ou frittage laser:

La micro-fusion laser consiste à déposer sur une plaque support, une couche de poudre de quelques micromètres qui va ensuite être chauffée à l'aide d'un faisceau laser jusqu'à leur température de fonte. Le plateau va descendre d'une épaisseur de couche, une nouvelle est déposée et le processus continue jusqu'à obtention du produit fini.<sup>60</sup>

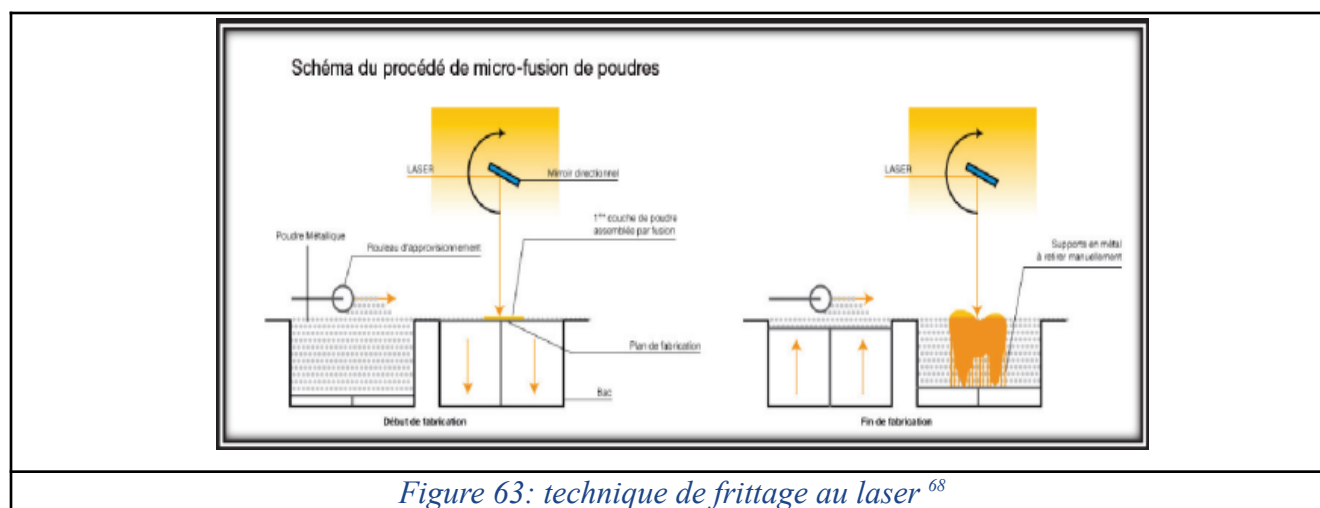
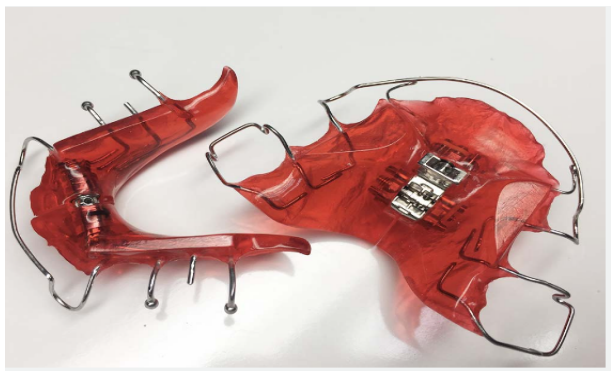





Figure 63: technique de frittage au laser<sup>68</sup>

#### 4.3.5.1.2. La fabrication par technique soustractive ou usinage :

La technique d'usinage consiste à mettre en forme un objet à partir d'un bloc par soustraction de matière. Compte tenu de la forme complexe des châssis, l'usinage n'est pas un procédé de mise en forme approprié. En effet, la forme complexe (principalement au niveau des crochets) difficile à réaliser engendre une possible fragilité des éléments réalisés. De plus, le temps d'usinage est long et la perte de matériau brut importante. Bien que l'usinage soit possible, la méthode de fabrication additive est à privilégier pour les châssis prothétique .<sup>60</sup>

	
<p><i>Figure 64 : piste de planas cfao <sup>34</sup></i></p>	<p><i>Figure 65 : disjoncteur cfao <sup>34</sup></i></p>
	
<p><i>Figure 66: Bielles de herbst sur gouttier cfao <sup>34</sup></i></p>	<p><i>Figure 67: quadhelix , disjoncteur, arc palatin, bague molaire cfao <sup>34</sup></i></p>

#### 4.4 CFAO les brackets :

BGHAFARI et JOSEPH délimitent trois périodes dans le développement de l'orthodontie du 20e et début du 21e siècle : Dans le début des années 1900, des attaches dites « simples » sont utilisées.<sup>72/73</sup>

L'information est créée par le praticien en pliant le fil et celui-ci est inséré dans les brackets. Dans les années 1970, arrive une période marquée par l'utilisation d'attaches « intelligentes » et le développement de l'orthodontie linguale.

Des attaches que l'on appelle aujourd'hui « pré informées » font leur apparition, réduisant le besoin de pliage durant le traitement.

Les mouvements que l'on veut obtenir ne se font plus seulement par déformation du fil, mais aussi en modifiant la géométrie de la gorge de nos attaches. A la fin des années 1990 l'imagerie tridimensionnelle émerge, via l'introduction des scanners intra oraux associée à l'utilisation de programmes de simulation virtuelle de traitement.

Cette innovation sera couplée à l'apparition de la CFAO et l'évolution des techniques de fabrication, telle que la fabrication additive ou impression 3D, qui ouvre le champ des possibilités quant à la personnalisation de nos outils de traitement.

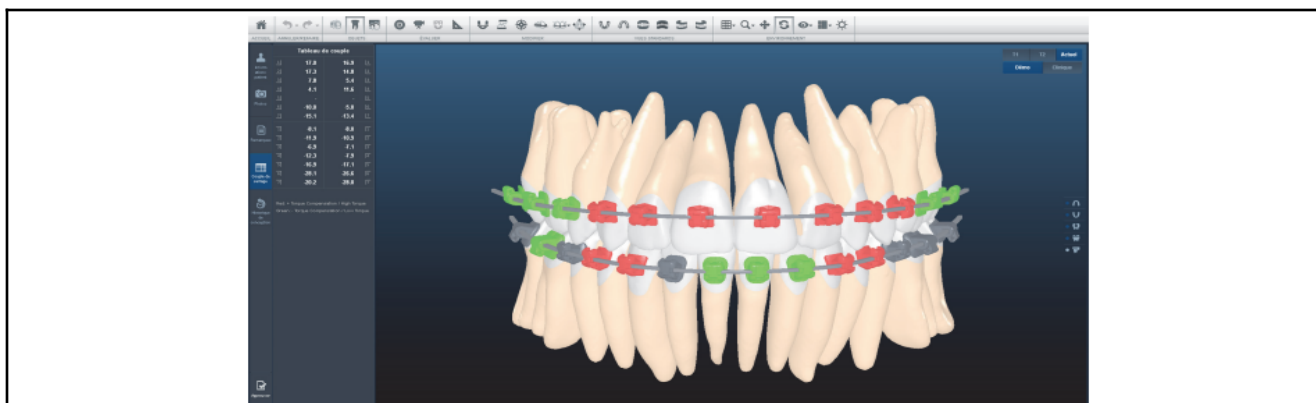
#### 4.4.1. Principe:

Les attaches vestibulaires orthodontiques sont standardisées. Chaque attache porte des informations de 1er, 2ème et 3ème ordres prédéfinies pour chaque dent. Ces informations peuvent varier selon les laboratoires qui les distribuent. Lorsqu'un mouvement supplémentaire est souhaité sur une dent en particulier, le praticien doit appliquer lui-même les modifications au sein de l'appareil, en risquant d'engendrer des phénomènes parasites non souhaités. Les modifications les plus courantes sont les plicatures effectuées sur l'arc (ajout de step, de tip, ou de torque), la modification de la position de l'attache, ou encore l'ajout d'une épaisseur de colle entre l'attache et la dent. Le concept d'attache personnalisée s'est développé au début des années 90 avec l'arrivée de l'orthodontie linguale. Les bases des attaches étaient réalisées en technique de cire coulée.

La technologie numérique offre l'opportunité de créer des attaches et des arcs sur mesure, individualisés, selon les mouvements dentaires qui ont été planifiés en amont lors de la réalisation du Set-Up.

C'est le cas du laboratoire Ormco® qui commercialise le système Insignia™ depuis 2013. Le praticien fournit au laboratoire une empreinte optique des arcades du patient, une téléradiographie de profil et une radiographie panoramique, et/ou un cône beam s'il le souhaite, ainsi que les photographies du patient. Il réalise une prescription numérique détaillée dans laquelle il choisit sa séquence d'arc.

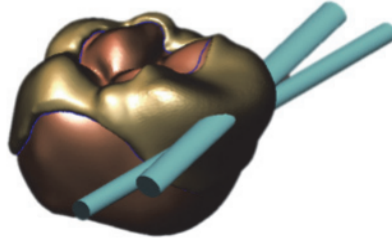
Un set-up numérique avec positionnement des attaches est alors créé par un technicien, l'orthodontiste peut lui-même intervenir dessus ou demander des modifications supplémentaires. Les attaches autoligaturantes sont individualisées en usinant leur gorge et en y intégrant des informations de 1er, 2ème et 3ème ordres propres au patient et au plan de traitement prévu (figure 71). Les arcs, choisis en amont, sont eux aussi tous individualisés selon la forme d'arcade du patient. Le collage se fait par l'intermédiaire de jigs de transfert.<sup>60</sup>



*Figure68 : Capture d'écran du logiciel Insignia® Approver – Set.up reconstituant la future position des attaches et des arcs individualisés ainsi que les informations de torque prévues pour chaque dent*

74

Depuis quelques années, les laboratoires de prothèses proposent des bagues molaires imprimées personnalisées à l'aide de la technologie numérique. Ces bagues sont surtout utilisées lors des premières phases interceptives des traitements. Des tubes vestibulaires peuvent être soudés à la surface de la dent dans un second temps. Le laboratoire Ortho Moov basé à Eguilles a breveté une technologie de bagues molaires entièrement personnalisée. Il propose l'impression en un temps d'une base de bague molaire et d'un tube et accessoires entièrement individualisés (figure69). Ainsi, le traitement orthodontique vestibulaire individualisé peut être débuté en même temps ou juste après l'utilisation d'autre appareillage nécessitant l'utilisation de bagues molaires sans avoir à déposer celles-ci.<sup>75</sup>



*Figure69 : capture d'écran découpée Conception assistée par ordinateur des bagues personnalisées imprimées : étape de choix de l'axe des tubes (Ortho Moov, Eguilles, France)<sup>75</sup>*

#### **4.4.2. Avantage :**

Cette technologie semble présenter plusieurs avantages comme :

- Un meilleur positionnement de la bague sur la dent avec un seul axe d'insertion.
- Une meilleure adhésion grâce à la rugosité de l'intrados.
- L'absence d'immobilisation au cabinet d'un stock de bagues conventionnelles.
- Un meilleur confort du patient grâce à une adaptation optimisée de la bague qui diminue le risque carieux, la suppression des aspérités et un meilleur état de surface.

#### **4.4.3. Collage indirect:**

Le collage direct est la technique de placement d'attache orthodontique la plus populaire dans les cabinets dentaires. Elle consiste à placer directement à l'œil nu, à l'aide d'outils de calibrage tels que des jauges graduées, l'attache sur la dent du patient. Une erreur de positionnement des attaches orthodontiques lors du collage peut entraîner un mouvement dentaire non voulu dans les 3 dimensions de l'espace, et provoquer une rotation, une intrusion, une extrusion, ou encore exprimer un torque non souhaité.

Le collage indirect a été développé par SILVERMAN et al en 1972 afin d'améliorer la précision du positionnement de l'attache sur la dent, de réduire le temps au fauteuil et d'augmenter le confort de travail du praticien . Le principe du collage indirect consiste à planifier le placement et fixer des attaches orthodontiques sur un modèle de travail, puis d'utiliser un système de transfert pour les coller sur les dents du patient.<sup>76</sup>

D'après les études de LI et al en 2019, le collage indirect est un collage fiable car aucune différence significative n'a été trouvée concernant la résistance au décollement entre les collages directs et indirects. Ils rapportent également que le temps de travail lors du collage au fauteuil est plus court .<sup>77</sup>

Pour NICHOLS en 2013, le collage indirect semble être reproductible en ne montrant pas de différence significative entre les collages d'un même orthodontiste .<sup>78</sup>

BROWN en 2015 décrit l'efficacité du collage indirect. Il décrit un temps de traitement significativement plus court en collage indirect par rapport au collage direct mais ne trouve pas de différence significative en fin de traitement sur le score ABO .<sup>79</sup>

Cependant, il est rapporté qu'il n'y a pas de différence significative dans la précision du placement des attaches lors du collage indirect et du collage direct .<sup>77</sup>

Ceci est expliqué par la supposition que les attaches ne sont pas parfaitement transférées sur l'arcade du patient lors du collage indirect.



ZACHRISSON et al insistent dans la prise en compte de l'expérience du praticien et indiquent que les attaches peuvent être collées de façon très précise en technique directe par un praticien expérimenté ayant attentivement étudié les modèles de travail à l'avance.<sup>80</sup>

Les étapes de laboratoire du collage indirect peuvent être réalisées entièrement ou en partie à l'aide d'outils numériques au cabinet dentaire .

#### **4.4.4. Planification du positionnement des attaches orthodontiques:**

##### **4.4.4.1. Positionnement sur un modèle physique:**

Le modèle de travail peut être en plâtre, ou en résine d'impression, et représenter la malocclusion initiale ou être le résultat d'un set-up numérique ou physique. Les attaches sont positionnées à la main sur le modèle selon le grand axe de la dent à la hauteur choisie par l'opérateur.

##### **4.4.4.2. Positionnement virtuel sur un logiciel informatique:**

###### **4.4.4.2.1. Positionnement virtuel sur un logiciel avec intervention d'un laboratoire extérieur :**

Les protocoles de collage indirect peuvent faire appel à des laboratoires extérieurs. Le placement des attaches se fera par un technicien selon la prescription rédigée par l'orthodontiste qui validera ou non leur bon positionnement. Certains logiciels offrent la possibilité à l'orthodontiste d'intervenir directement sur le positionnement de l'attache par le biais du logiciel fourni par le laboratoire.

###### **4.4.4.2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel par l'orthodontiste:**

Après acquisition de l'empreinte optique des arcades du patient, et la création d'un fichier STL, des logiciels offrent la possibilité de placer virtuellement les attaches afin de planifier leur futur positionnement.

Un CBCT peut être fusionné au fichier STL afin de visualiser plus facilement le grand axe de la dent. Comme pour réaliser un set-up numérique, les dents sont individualisées une à une. Des repères sont placés sur les arcades afin que le logiciel trace les contours dentaires. Certains logiciels tracent directement l'axe radiculaire de chaque dent.

Le praticien peut ensuite apporter des modifications. Le plan d'orientation et d'occlusion sont déterminés ainsi que le centre de rotation de chaque dent. Le praticien valide ou non les différentes références proposées. Les arcs et les attaches sont choisis par l'orthodontiste. Les attaches sont ensuite placées et des informations de mesure permettent d'ajuster précisément les attaches.

La manipulation de ces dernières dans les 3 plans de l'espace est possible, et une augmentation de l'épaisseur de colle peut être prévue en programmant un écartement plus ou moins important de la base de l'attache. Ainsi, le praticien peut individualiser les informations de 1er, 2ème et 3ème ordres pour chaque patient.

A partir de cette planification, plusieurs protocoles peuvent être mis en place. L'un consiste à imprimer le modèle 3D avec forme des attaches en résine.

Le système de transfert sera créé à partir de ce modèle. Les attaches seront ensuite placées manuellement directement dans le système de transfert.

Des encoches autour des attaches virtuelles peuvent être positionnées sur le logiciel, puis les attaches sont supprimées numériquement. Le modèle 3D est alors imprimé avec les encoches qui permettent de repositionner les attaches réelles à l'emplacement prévu avant de fabriquer le système de transfert (figure70 ).<sup>81</sup>



*Figure 70: Encoches de positionnement des attaches sur le logiciel Appliance Designer ® qui vont être imprimées sur modèle physique <sup>82</sup>*

D'autres protocoles réalisent directement à partir du fichier STL possédant les attaches virtuelles des systèmes de transfert numériques qui seront fabriqués par impression 3D .

#### **4.4.4.3. Systèmes de transfert:**

Une fois les attaches positionnées sur le modèle de travail, un système de transfert est utilisé pour pouvoir coller les attaches sur les dents du patient à la position préalablement définie. Les gouttières de transfert en silicone à base de polyvinylsiloxane ont une bonne stabilité dimensionnelle. L'opacité de ces gouttières impose l'utilisation d'une colle chémo polymérisable dont la mise en œuvre est délicate et complexe.

Les gouttières en silicone transparent de type Memosyl® offrent l'opportunité d'utiliser une colle photopolymérisable. Cependant, elles ne présentent pas la même rigidité ni la même précision que celles conçues en polyvinylsiloxane. Les gouttières en matériau thermoplastique monocouche présentent l'avantage d'être assez souples pour faciliter leur insertion. Leur translucidité permet de vérifier leur bonne adaptation à l'arcade et d'utiliser une colle photopolymérisable. Leur désinsertion est difficile et impose des incisions de décharge.

Les gouttières en matériau thermoplastique double couche offrent l'avantage de l'utilisation d'une colle photopolymérisable, d'une bonne stabilité grâce à la rigidité d'une gouttière dure recouvrant une gouttière molle qui apporte une bonne précision de positionnement et un bon ajustement. Leur dépose est plus aisée que les monocouches.<sup>81</sup>

La technologie numérique permet de concevoir des gouttières de transfert qui sont imprimées directement par imprimante 3D à partir d'une planification de positionnement des attaches. Les gouttières imprimées en 3D sont généralement fabriquées en résine acrylique semi rigide. Selon les protocoles, elles peuvent être en un seul tenant, fragmentées en plusieurs parties, communément appelés jigs, pour rassembler un groupe de dent ou encore être individuelles pour s'adapter dent par dent (figure 71).



*Figure 71: groupe de jigs de transfert Insignia <sup>82</sup>*

La segmentation des jigs offre l'avantage d'une meilleure adaptation et d'une manipulation plus aisée pour l'opérateur mais elle augmente considérablement la durée du collage au fauteuil. La possibilité de

segmenter les jigs individuellement permet de pouvoir les réutiliser à tout moment du traitement en cas de décollement de l'attache.

En 2020, DUARTE et al ont étudié la reproductibilité du collage indirect utilisant des modèles 3D et des jigs de transferts fabriqués à l'aide d'imprimante 3D. La conclusion de leur article est que le collage indirect à l'aide de jigs imprimés en 3D reproduit précisément la position des attaches placées virtuellement, indépendamment de l'expérience antérieure de l'orthodontiste avec le système ou le nombre d'années de pratique clinique. Aucune différence significative n'a été trouvée entre l'utilisation des attaches conventionnelles et autoligaturantes avec ce système de transfert.<sup>83</sup>

Dans leur étude réalisée en 2020, POTTIER et al ont évalué la précision du repositionnement des attaches en comparant deux systèmes de transfert. Un groupe a été collé à l'aide de gouttières rigides en acrylique utilisant la technologie numérique et un groupe a été collé à l'aide d'une gouttière en silicone. Ils concluent que chaque système de transfert atteint un score ABO cliniquement acceptable, mais les gouttières en silicone semblent plus précises que les gouttières fabriquées à l'aide de la technologie numérique<sup>84</sup>

Une autre étude réalisée en 2021 par NIU et al a comparé la précision du transfert des attaches des collages réalisés à l'aide d'une gouttière numérique imprimée et d'une gouttière thermoformée double couche. Les conclusions de cet article sont les suivantes : les gouttières numériques offrent un transfert d'attache plus précis que les gouttières thermoformées double couche ; pour les deux systèmes de transfert, le contrôle linéaire est meilleur que le contrôle angulaire des attaches ; les deux systèmes de transfert ont montré un biais en direction occlusale, mésiale et vestibulaire ; il existe des erreurs d'angulation pour les molaires lorsque le système de transfert est une gouttière thermoformée double couche.<sup>85</sup>

En revanche, ZHANG et al en 2020, ne trouvent pas dans leur travail de différence significative entre la précision du collage indirect par jigs numérique ou par gouttière thermoformée double couche.<sup>86</sup>

#### **4.4.5. Les limites de numérisation des brackets:**

##### **4.4.5.1. Les limites biologiques :**

Les mouvements dentaires sont limités biologiquement par l'environnement parodontal. L'os alvéolaire et le biotype parodontal, propres à chacun, ne peuvent supporter de trop grandes amplitudes de déplacement des dents.

Sur un set-up numérique, l'orthodontiste ou le technicien peuvent placer les dents à l'endroit où ils le souhaitent, même si le mouvement pour y arriver semble irréalisable. Certains logiciels peuvent alerter le praticien lorsque le set-up comprend des déplacements dentaires difficiles voire impossibles par une codification colorimétrique.

A ce jour, la planification numérique ne prend pas en compte la biologie du mouvement dentaire, la biomécanique et les propriétés des matériaux, comme le font les praticiens. L'orthodontiste doit comprendre les limites de l'appareil et les valeurs par défaut du logiciel afin d'obtenir les résultats prévus.

La présentation d'un set-up numérique au patient augmente le risque de doléance si le résultat final diffère. Il est important de lui rappeler qu'il ne s'agit que d'une simulation et non de la finalité réelle de son traitement.

##### **4.4.5.2. Les limites de reconstitution :**

Pour certains logiciels, il est encore impossible d'intégrer les racines dentaires dans l'environnement osseux lors de la superposition des empreintes optiques avec les cone beam. Il est donc difficile de déterminer les limites des déplacements radiculaires sans consulter le cone beam en même temps que le set-up. L'orthodontiste doit redoubler de vigilance. Pour d'autres, l'image 3D

reconstituée de l'arcade dentaire est différente de la réalité anatomique induisant des erreurs de positionnement dans le set.up

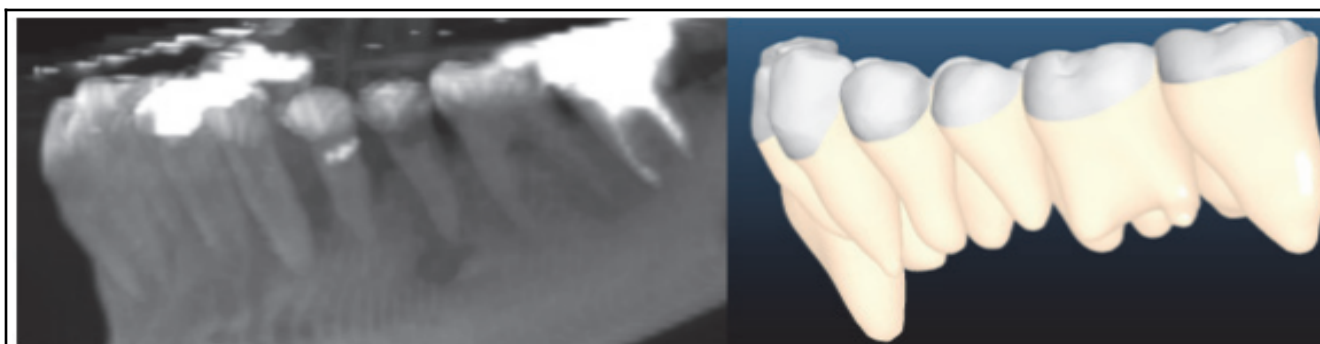


Figure 72: Capture d'écran d'un cone beam (logiciel Horos®) – Capture d'écran de la reconstitution des racines à l'aide du même cone beam et d'une empreinte optique (logiciel Insignia®) <sup>82</sup>

#### 4.4.5.3. les limites financières:

#### 4.4.5.4. Le stockage en cabinet :

L'encodage des fichiers au format STL permet d'avoir accès aux données avec tous les logiciels 3D, ce qui nous permet d'en disposer comme on le souhaite indépendamment des fournisseurs. Leur stockage se fait sur le cloud.

Généralement, le « cloud » est mis à disposition par le fournisseur. Il est conseillé de faire une sauvegarde sur un disque dur au cabinet car en cas de changement de fournisseur, les fichiers stockés peuvent ne plus être accessibles.

### 4.5. Gouttières transparentes orthodontiques:

#### 4.5.1. Rappel Historique:

Longtemps, l'orthodontie a été associée à des traitements avec des bagues en métal, douloureuses et peu élégantes. Cette image du traitement, qui est encore parfois associée à l'orthodontie, n'est pourtant qu'une image datée de la réalité.

Non seulement aujourd'hui, l'orthodontie peut se faire discrète tout en conservant les mêmes résultats, mais en plus les techniques qui permettent de réaliser ces traitements sont multiples. D'ailleurs, le terme même de « bagues » n'est plus adapté : à l'origine, il s'agissait en effet de bagues qui entouraient la dent .

Aujourd'hui, le traitement orthodontique se fait par des gouttières transparentes qui n'est en réalité pas l'essor du 21eme siècle. En effet, ce concept remonte aux premières décennies du 20 siècle quand, *Dr Kesling* proposa l'utilisation d'une gouttière pour déplacer des dents au lieu de faire l'objet d'une contention habituelle .<sup>87</sup>

En 1923, *Remensnyder* observe des déplacements dentaires secondaires au port de son appareil de traitement de parodontite appelé le Flex.o.Tite ( Gum massaging Appliance) .<sup>88</sup> Ce qui l'amena, en 1949 ; à breveter une gouttière en caoutchouc souple s'adaptant aux dents du patient ainsi qu'aux tissus gingivaux sous le nom de « Orthodontic Appliance »<sup>89</sup>

En 1945, *H.D ;Kesling* créa un appareil simple qui influencerait tous les dents de façon à se positionner dans leur meilleure position possible ; sans avoir recours aux brackets ni aux fils ,sous le nom de « Positionneur de Kesling »<sup>87</sup>

En 1964, *Nahoum* présente un appareil formé sous vide : « Vacuum Formed Dental Contour Appliance » ; il s'agit de gouttières thermoformées en plastiques thermiques (acétat ,butyrate , polyéthylène, styrène ou vinyl), dont l'épaisseur varié de .010 à .040 inches ,qui sont utilisées dans

différents domaines :( orthodontique, parodontal, chirurgical, et en prothèse) , mais cela limite les indications de cet appareil aux secteurs antérieures(six dents antérieures).<sup>90</sup>

En 1971 , *Pontiz* présente un appareil similaire à celui de *Nahoum*, qu' il nomme « Invisible Retainer ». Ce dispositif est thermoformé par aspiration et sous vide sur un maître modèle sur lequel les dents sont positionnées de façon idéale.<sup>91</sup>

En 1985,aux Etats.Unis, *MacNamara* s'est inspiré des travaux de *Pontiz* et a introduit la première gouttière thermoformée par pression à visée orthodontique (système *Biostar*) et a élargi ses indications aux déplacement de faible ampleur (fig 73) .<sup>92</sup>



Figure 73 :Une gouttière de contention *Biostar* <sup>82</sup>

En 1985, l'orthodontiste américain *John J. Sheridan* développe son propre système d'alignement, qu'il a nommé *Essix* et qui a contribué à populariser cette technologie de gouttières transparentes en Amérique du Nord. Il réalise toute une série des moulages en plastique thermoformé associé avec la réduction amélaire interproximale « stripping » pour objectif de déplacer progressivement les dents (fig 74).<sup>93/94</sup>



Figure 74 :Une gouttière de contention *Essix* <sup>95</sup>

#### 4.5.2. Définition d'un aligneur Orthodontique :

Un aligneur est une gouttière transparente amovible en polymère thermoformant qui est porté de manière séquentielle par le patient. Chaque gouttière permet la réalisation d'un petit mouvement qui fait partie intégrante d'un ensemble de mouvements beaucoup plus vaste correspondant au traitement (fig 75).<sup>96</sup>



Figure 75 : un aligneur orthodontique <sup>24</sup>

Jusqu'à présent, il existe plusieurs systèmes d'aligneurs orthodontiques commerciaux, parmi eux, nous citons les plus connus : *Clear Aligner* ; *Orthocaps* et *Invisalign*.

Pour illustrer l'alternative thérapeutique que sont les aligneurs, nous avons choisi de parler du système *Invisalign* de la société *Align technology*, leader du marché.

Ce système orthodontique, créé en 1999 et arrivé en France en 2001 utilise les technologies *CFAO* dans le but de fabriquer les appareils nécessaires.<sup>35</sup>

#### 4.5.3. Align Technology :

Align Technology est le nom d'une entreprise américaine dans le domaine de l'orthodontie, elle a été fondée en 1997 par *Zia Chishti* et *Kelsey Wirth*. Son siège est à *San José*. En 1999, le système "*Invisalign*" fut introduit sur le marché. En octobre 2017, le brevet pour cette méthode de correction dentaire a expiré. Depuis lors, des entreprises du monde entier ont pu produire et proposer des aligneurs du même type.<sup>97</sup>.

#### 4.5.4. Le Système invisalign :

AU cabinet dentaire, la protocole Invisalign permet :

- La création d'un dossier patient et d'une procédure de soumission : le praticien crée un dossier dans lequel il détaillera les données relative au patient, photographies et/ou radiographies.
- Un diagnostic complet, la réalisation d'une empreinte numérique ou en matériau polyvinyle siloxane du maxillaire et de la mandibule avec un port. empreinte en plastique, ainsi qu'un enregistrement de l'occlusion en relation centrée.
- Le choix d'une option de niveau traitement, sachant qu'il en existe cinq. ***Invisalign full*** se définit avec un large champ d'applications selon le niveau d'expérience du praticien, y compris les traitements globaux adaptés à des corrections antéro-postérieures de classe 1,2 et 3. Le praticien répond aux questions concernant le plan de traitement du patient et réalise ainsi sa prescription basée sur des préférences cliniques.
- L'envoi pour analyse des empreintes, mordus, et formulaires à la société Align Technology.
- L'application du plan de traitement sur l'arcade dentaire numérisée. La visualisation numérique est disponible sur l'ordinateur du praticien. Cette conception virtuelle du plan de traitement apparaît grâce au logiciel ClinCheck .
- La validation par le praticien du projet thérapeutique présenté en 3D par la société Align technology avec la possibilité de modification de celui-ci par ses soins pour qu'il corresponde à ses attentes, a possibilité de visualisation du rendu escompté grâce au logiciel de prévisualisation IOSim .
- La réception et les poses successives des gouttières, avec adjonction possible de taquets, accompagnées des explications spécifiques à cette technique.
- Le suivi thérapeutique régulier par la comparaison « en bouche vs situation prévue virtuelle » avec la possibilité d'interaction rapide avec les référents de la société Align Technology en cas de difficulté.

A l'autre bout de la chaîne dans le laboratoire Align Technology le protocole offre les services suivants :

- Les empreintes réalisées de manière traditionnelle sont scannées à l'aide de l'utilisation d'un scanner extra-oral.
- Après avoir réalisé un recalage des modèles, le technicien orthodontique virtuel Invisalign (VOT) crée un set-up virtuel sur lequel une gencive virtuelle est placée le long des collets pour servir de référence à la fabrication des aligneurs.
- Une fois la configuration finale réalisée, les mouvements dentaires sont visualisés de sorte qu'il n'y ait pas d'interférence en fin de réalisation. Le nombre d'étapes nécessaires dépend de la quantité et de la complexité du mouvement global.
- L'orthodontiste dans son cabinet approuve le plan de traitement, ce qui lance la production des gouttières.

- Les gouttières sont rongées et gravées au laser avec les initiales du patient, et sont ensuite désinfectées, emballées et expédiées chez le praticien<sup>35</sup>.

D'un point de vu technique, l'offre de la société s'appuie sur un procédé spécifique production / impression 3D (fig 76) .



Figure 76 : Gouttière invisalign portée <sup>98</sup>

Les images numériques des arcades sont converties en modèles physiques en utilisant un processus appelé stéréolithographie, technique dite de prototypage rapide en fabrication additive : la fabrication des moules de chaque gouttière se fait par l'utilisation d'un laser solidifiant de la résine liquide. Ces modèles sont ensuite utilisés pour fabriquer les dispositifs d'alignement avec une machine de moulage sous pression Biostar avec une précision de l'ordre de 50 microns .<sup>99</sup>

A partir de 2009, la découpe et le polissage sont industrialisées créant un produit obtenu en totalité sans manipulation humaine ce qui permet à *Align Technology* et *Invisalign* de faire le premier appareil orthodontique par aligneur 100% digital augmentant considérablement la précision, la propreté et les possibilités de fabrication à grande échelle.<sup>35</sup>

#### 4.5.5. Le logiciel ClinCheck:

Le logiciel utilisé avec la technologie Invisalign se nomme ClinCheck(fig 77) , set.up animé du plan de traitement permettant de vérifier la concordance entre le virtuel et le réel sous tous les angles. Il permet une visualisation 3D des étapes de traitement jusqu'au résultat final. Comme déjà dit, le praticien peut évidemment intervenir pour valider ou non la proposition. Le logiciel possède de nombreux outils. Les principaux permettent <sup>35</sup> :

- La vérification de l'occlusion initiale
- L'analyse : calcul de l'encombrement, observation des points de contacts
- L'évaluation des déplacements prévus pour chaque dent pendant le traitement
- La vérification de la position finale
- La comparaison des différentes stratégies thérapeutiques
- La présentation du traitement au patient
- L'analyse de la quantité, de la localisation se du moment des meulages interproximaux éventuellement nécessaires.

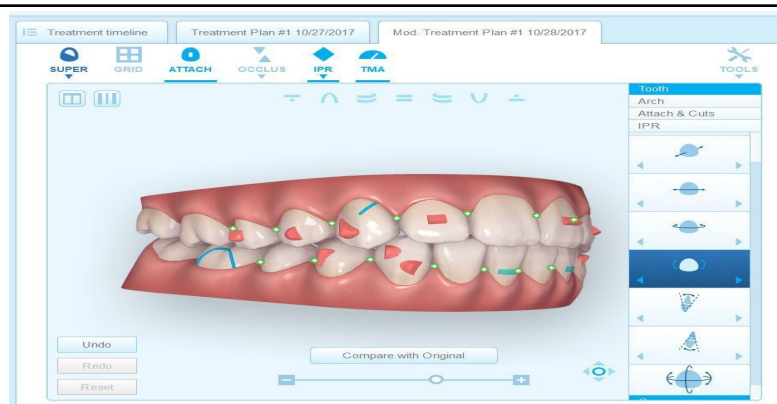


Figure 77 : logiciel ClinCheck <sup>100</sup>

La thérapeutique des aligneurs actifs est basée sur des mouvements limités spécifiques. Sa biomécanique repose sur le fait que les forces délivrées aux dents sont produites par le retour à la position neutre de la gouttière initialement introduite en force sur celles-ci.

La quantité de déplacement est située selon la fabricant entre 0.25 mm et 1 mm par jeu de gouttières et pour cela elles doivent être portées durant 15 heures et ce durant 22 heures par jour. Les mouvements dépendent aussi de la composition et des propriétés intrinsèques des gouttières. Ainsi, il a été montré que la dureté Vickers des gouttières pouvait augmenter en milieu oral. Align Technology a introduit avec la version G4 d'Invisalign un nouveau polymère censé délivrer une force plus constante sans décroissance d'intensité avec le temps, avoir une meilleure élasticité et permettre une insertion et une désinsertion plus facile des aligneurs. Il s'agit du matériau SmartTrak qui applique des forces modérées et plus constantes <sup>101</sup>. D'après Vardimon AD <sup>102</sup>, les contraintes développées à la surface des gouttières sont maximales le premier jour de port, puis diminuent le deuxième jour et se stabilisent dans une phase de plateau jusqu'au 15<sup>ème</sup> jour. Les mouvements prévus se produisent donc dans les premières 24 heures.

Les forces exercées sont principalement localisées au niveau occlusal et, contrairement aux traitements multi attaches classiques, la gouttière transmet, dès le début de son utilisation, les informations « des trois ordres ». Elles bénéficient aussi d'un avantage, ces gouttières permettent de supprimer l'influence de l'environnement musculaire et des contacts occlusaux.

Align Technology définit des intervalles de valeurs selon les catégories de mouvements dentaires voulant être réalisés. Ainsi, l'égression et l'ingression sont limitées à 1 mm pour le secteur postérieur, et peuvent aller jusqu'à 3 mm en secteur antérieur. Les mouvements radicaux se limitent à 4 mm et la moyenne des rotations sur l'ensemble des dents est de 30°. Ces mouvements sont assurés par l'adjonction d'artifices, reliefs améliorant l'effet de pression au collet (crêtes permettant des mouvements de torque), des taquets avec des géométries spécifiques selon les mouvements à contrôler (égression, rotation, version), des options de découpe permettant d'attacher des élastiques ainsi qu'est rampes d'occlusion de précision pour une correction des supraclusions. Par exemple, les attaches ovales sont indiquées pour les égressions dentaires lorsqu'elles sont placées en position verticale sur les premières prémolaires (dimension : 3 mm de hauteur, 2 mm de largeur : 0.75mm d'épaisseur)<sup>35</sup>.

De nouveaux attachements ont vu le jour avec INvisalign G4 qui améliore le contrôle et la précision des déplacements.

Cette technique est indiquée pour le traitement d'encombrements légers à moyens et pour la correction d'anomalies transversales ou sagittales ». Son efficacité repose sur la bonne connaissance des limites de cette thérapeutique et l'expérience du praticien la mettant en place. Les limites des traitements sont connues : cas d'extraction, mésialisation des molaires, rotations sévères et corrections du sens vertical et transversal sévères. Il a été démontré que ces traitements orthodontiques par gouttières sont moins efficaces et nécessitent le recours aux techniques traditionnelles pour les cas complexes. De plus, la récurrence semble plus importante que lors de l'utilisation d'appareils multi-attaches <sup>103</sup>. D'après Djeu g,<sup>104</sup> presque 80% des cas traités sélectionnés dans une étude seraient refusés à la certification de l'american Board of Orthodontics contre 52% des cas traités en orthodontie conventionnelles. Mais depuis 2014, avec l'apparition d'Invisalign G5 puis d'Invisalign G6 forces, moments générés et techniques sont en constant perfectionnement <sup>105</sup>.

#### **4.5.6. Les avantages :**

La discrétion et la facilité d'adaptation de ces gouttières semblent être les avantages majeurs de cette technique. Les patients recherchent avant tout un moyen « esthétique » d'aligner les dents. Exactement ce que procure ce système qui est basé sur des gouttières pratiquement invisibles qui ne gênent presque aucune gêne ou blessure (au maximum 2-3 jours) et ne perturbent pas l'élocution.

Du point de vue de l'hygiène, la dépose des gouttières lors du brossage doit permettre de conserver une hygiène dentaire parfaite durant la durée de traitement. Cela suppose que doit être effectué afin



d'éviter toutes lésions carieuses ou coloration de la gouttière qui perdrait son atout majeur esthétique. Le facteur amovible semble être un avantage, mais est aussi en rapport avec l'efficacité du traitement. Celle-ci dépend, comme pour toute technique amovible, de la coopération du patient au bon port des gouttières. Dans ce contexte, pour les adolescents, Invisalign Teen revêt des témoignages de bon port des gouttières réactives à la salive ce qui permet le contrôle de port effectif.

La visualisation du résultat sur écran ainsi que l'évaluation du nombre de gouttières et donc de la durée de traitement est un atout pour le patient.

En définitive, avec à ce jour plus de quatre millions de personnes traitées dans le monde, la technologie invisalign semble avoir de beaux jours devant elle. Plus généralement, c'est probablement le processus de production de séquences de gouttières qui devrait se développer dans l'avenir avec l'apparition d'autres techniques et d'autres sociétés dans le but d'améliorer la thérapeutique, de tous les points de vue, pour le patient et pour le praticien (fig 78)<sup>35</sup>

Exemple de CAS CLINIQUE . INVISALIGN

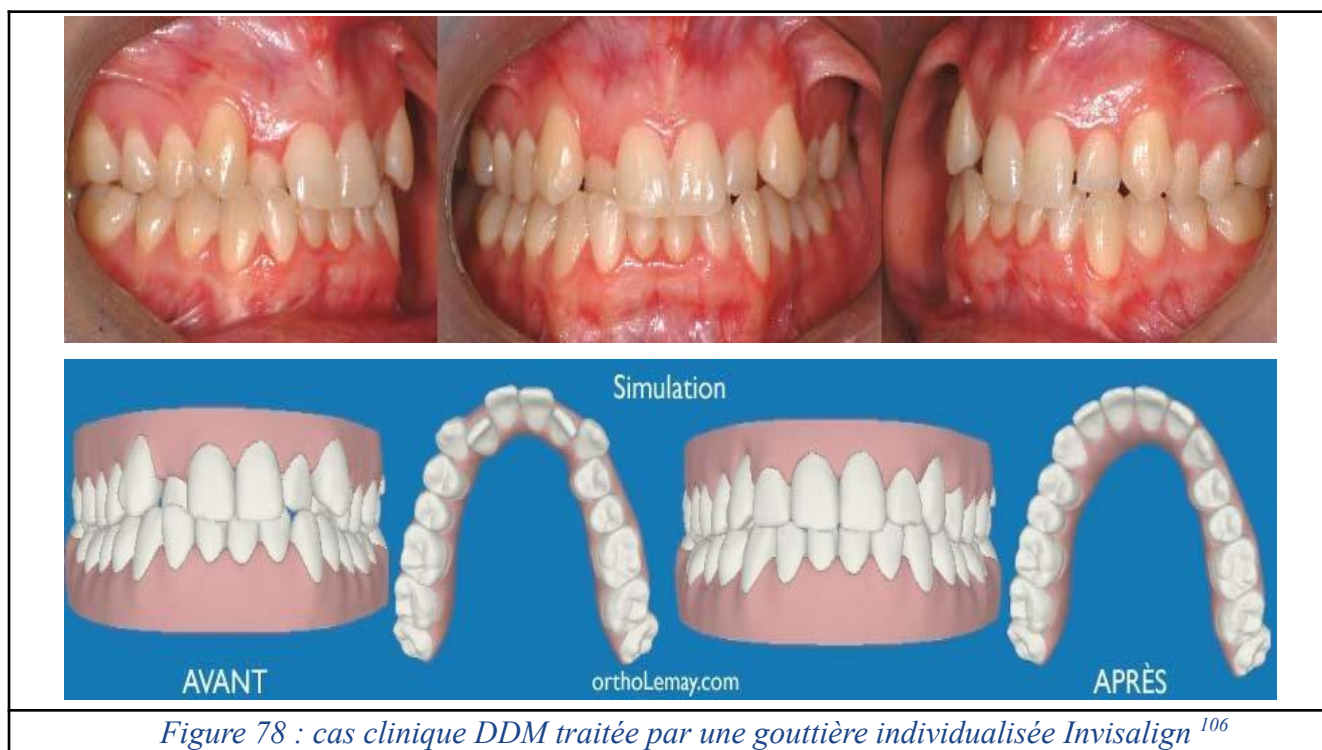


Figure 78 : cas clinique DDM traitée par une gouttière individualisée Invisalign <sup>106</sup>

**4.5.7. Les inconvénients :**

Le traitement par les gouttières peut présenter quelques inconvénients, notamment lorsqu'ils ne sont pas prescrits lors d'un examen réalisé par un orthodontiste. Voici donc quelques dangers, inconvénients et autres cas de figure auxquels on doit s'attendre lors de leur utilisation <sup>107</sup> :

★ **Comprendre d'abord que les aligneurs transparents ne sont pas la solution à tous les problèmes:**

Bien que les aligneurs transparents couvrent chaque jour de plus en plus de cas, ils ont leurs limites. Ils corrigeront avec succès le surpeuplement, combleront les lacunes et les problèmes de morsure mineurs. Pourtant, les appareils orthodontiques sont meilleurs pour les situations complexes. Par exemple, votre dentiste peut utiliser des fils pour retirer une dent cachée de la gencive et l'insérer dans votre arcade. Les aligneurs peuvent être pratiques, mais ils ne sont pas un touche.à.tout.

★ **Les difficultés que peuvent entraîner des boutons:**

Lorsque le professionnel veut placer les aligneurs dentaires sur les dents, il peut avoir besoin de ce qu'on appelle les boutons. Ces derniers aident à fixer les gouttières. Le problème est que lors du retrait, les aligneurs peuvent ne pas s'enlever facilement. Par ailleurs, d'un point de vue esthétique, de petits talons peuvent se rendre visibles, particulièrement lorsque le patient oublie de mettre ses plateaux.

### ★ Risques de décoloration des aligneurs :

Lorsqu'une personne porte des aligneurs invisibles, elle n'est pas tenue de changer toute son alimentation pour préserver leur état. Toutefois, il faudra éviter des aliments précis qui contiennent des substances susceptibles de laisser des taches très visibles sur les gouttières. Ces aliments sont entre autres le café, les sodas et le thé noir.

### ★ Risques de carie dentaire :

Les personnes ayant la fâcheuse habitude de manger à tout bout de champ, ne feront certainement pas bon ménage avec les aligneurs. En effet, elles ont en général une notion assez limitée des bonnes pratiques d'hygiène bucco-dentaire. Alors, se voir retirer à chaque grignotage leurs gouttières va sans doute vite les exaspérer. Elles seront alors tentées de faire fi de ce geste important. Or, oublier ou éviter d'enlever les aligneurs dentaires invisibles durant les repas, peut conduire à un risque de carie dentaire.

### ★ Risques de développer un zézaïement :

Le risque de développer un zézaïement est bien réel. En effet, tout comme il est difficile de parler en ayant sa langue sur le toit de la bouche, il en est de même pour les aligneurs de dents, qui peuvent entraîner des effets semblables, notamment au début. Au fil du temps, le patient peut s'habituer. Mais avant que l'habitude ne s'installe, le patient verra sa manière de parler connaître des modifications. Il suffira alors de quelques exercices pour que le problème se résolve. Pour ce faire, il faudra par exemple lire à haute voix, notamment les mots complexes qui débutent par les lettres « S » et « R ». Cela constitue un excellent exercice pour la langue, qui pourra plus facilement se familiariser aux gouttières au bout d'une semaine.

### ★ Nécessité de respecter le plan de traitement :

Les gouttières ont un impact positif sur les personnes qui les portent parce qu'ils leur permettent de retrouver le sourire. Cependant, il ne sert à rien d'y avoir recours pour aligner les dents, si vous n'êtes pas en mesure de suivre correctement le traitement. Le résultat attendu ne sera simplement pas au rendez-vous. Ainsi, il est essentiel d'observer les heures de port, de rechange et de visite chez l'orthodontiste. Autrement, l'alignement espéré ne se fera pas dans le temps voulu. Par ailleurs, le patient devra avoir une hygiène bucco-dentaire irréprochable, de telle sorte qu'une carie dentaire ne puisse survenir. Pour faire plus simple, parvenir à corriger les problèmes dentaires en ayant recours aux aligneurs dentaires demande un engagement personnel.

### ★ le coût élevé.

## 4.5.8. Les gouttières chirurgicales numérisées:

### 4.5.8.1. Définition:

La chirurgie orthognathique a pour objectif de corriger les malformations et les grandes dysmorphoses maxillo-mandibulaires, qu'elles soient congénitales ou acquises. Elle vise à obtenir une occlusion dentaire, un sourire et un visage harmonieux ce qui a un impact esthétique et fonctionnel. Plusieurs types de chirurgie existent : l'ostéotomie de LeFort 1, l'ostéotomie mandibulaire totale ou encore l'ostéotomie bi-maxillaire. Celles-ci sont toutes réalisées après une préparation orthodontique.

Les gouttières chirurgicales sont des guides chirurgicaux très utilisés au cours de la chirurgie. Ce sont des outils clés disposant d'informations dans les trois sens de l'espace relatives aux mouvements des bases osseuses et de l'occlusion souhaitée lors de la réalisation de la chirurgie. Elles ont une bonne précision du positionnement antéro-postérieur mais possèdent peu de contrôle sur la dimension verticale. Ces gouttières peuvent être de type intermédiaire ( pour repositionnement maxillo-mandibulaire) ou de type terminal( Our placement des arcades dans l'occlusion souhaitée). Les matériaux utilisés sont des résines auto polymérisables, photo polymérisables ou encore une silicone (polyvinyle siloxane)<sup>35</sup>

#### 4.5.8.2. La confection des gouttières chirurgicales :

Le protocole de création des gouttières chirurgicales traditionnelles comprend une prise d'empreinte maxillaire et une prise d'empreinte mandibulaire à l'alginat de préférence une semaine avant l'intervention et un enregistrement de l'occlusion intermaxillaire en relation centrée. S'en suit une simulation chirurgicale manuelle à l'aide de modèles en plâtres montés sur split cast et sur articulateur. Les gouttières sont ensuite fabriquées directement sur la simulation souhaitée en laboratoire pour correspondre à cette situation.<sup>108</sup>

Grâce aux nouvelles technologies informatiques et industrielles dont nous avons déjà parlé dans ce mémoire (empreintes optiques, images 3D) un nouveau protocole de chirurgie maxillo-faciale est désormais disponible. Il repose sur les étapes suivantes<sup>109</sup> :

- Empreintes numériques ou scénarisation d'empreintes ou de modèles classiques pour obtenir une acquisition 3D des surfaces occlusales du patient.
- Photographie du visage afin de tenir compte des tissus mous du patient.
- Acquisition 3D du complexe maxillo-mandibulaire en relation centrée et sans intercuspitation maximale, afin de permettre la segmentation des arcades maxillaire et mandibulaire.
- Simulation chirurgicale virtuelle informatisée à l'aide de logiciels spécifiques et recalage de l'enregistrement occlusal sur le volume du massif facial du patient afin d'obtenir une définition maximale de l'occlusion dentaire. Et utilisation d'un articulateur virtuel repositionnant les surfaces occlusales bi-maxillaires en articulé de classe 1 dentaire après segmentation des arcades.
- Conception assistée par ordinateur de la gouttière avec la création d'une gouttière virtuelle reproduisant la position relative corrigée des arcades maxillaire et mandibulaire.
- Fabrication des gouttières par impression 3D, en utilisant un matériau biocompatible de type PGA (poly Glycolic Acid).
- Utilisation de la gouttière lors de la chirurgie.

Techniquement, la fabrication des gouttières est réalisée par impression 3D en superposant des couches de matériaux. Cette fabrication est donc d'une très grande précision.

En revanche, la durée de réalisation est actuellement relativement longue : il faut compter 2 minutes et 30 secondes en moyenne pour l'impression d'une couche et 1 minute de séchage entre chaque couche ce qui revient à une durée de 2 à 4 heures environ par gouttière. Cet inconvénient se réduit si l'imprimante 3D permet la création de plusieurs gouttières simultanément.

Du point de vue logiciel, Dolphin Imaging (fig 79) ou encore Nemo Ceph FAB 3D permettent la réalisation de gouttières de positionnement reproduisant le plan virtuel basé sur les données de l'occlusion saisies de manière informatique et leur utilisation au sein du bloc opératoire après leur fabrication. Ces logiciels contiennent divers outils permettant de sélectionner la largeur, l'épaisseur et d'autres paramètres de l'attelle en fonction des plans de traitement. Tous les fichiers de données d'attelle sont générés au format style standard, pour l'impression physique 3D au laboratoire ou directement au cabinet<sup>35</sup>.

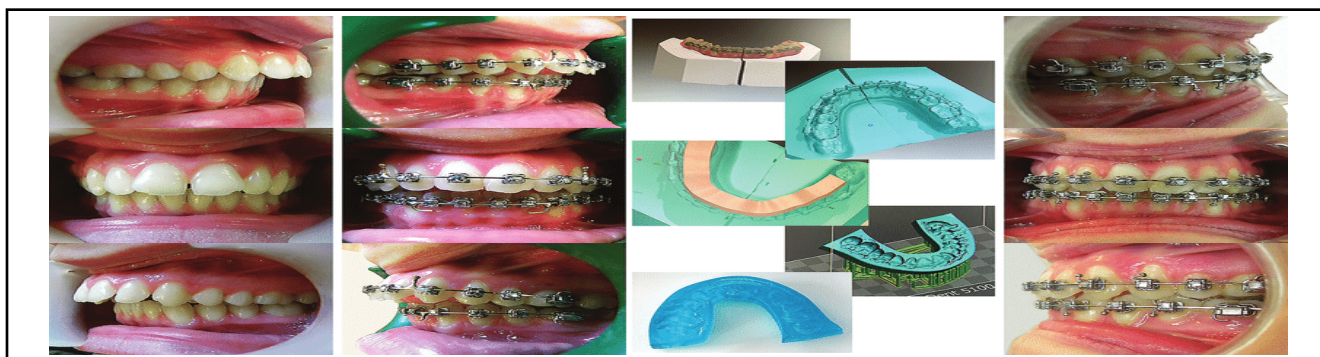


Figure 79 : construction virtuelle des gouttières chirurgicales (Dolphin imagerie), impression 3D des gouttières chirurgicales.<sup>110</sup>

### 4.5.8.3. Les avantages et Les inconvénients :

Les avantages de la technique virtuelle résident dans la non utilisation de plâtre, la possibilité pour le praticien de prendre la main sur la confection de la gouttière via les set.up chirurgicaux, et la possibilité d'un travail en collaboration (prothésiste, dentiste) au travers du partage de fichiers. Et pour les inconvénients, ils résident dans la difficulté de définition d'une occlusion chirurgicale virtuelle satisfaisante et dans la durée de fabrication de ces gouttières. On peut aussi ajouter le besoin d'une excellente connaissance des logiciels employés pour respecter strictement les étapes de réalisation en fournissant les données nécessaires.

Enfin, l'usage du numérique ne se limite pas à la création de gouttières, il existe aussi la fabrication informatisée des dispositifs sur mesure tels que les guides de coupe, de préforages ou encore les plaques d'ostéosynthèses <sup>35</sup>.

### 4.6. L'orthodontie linguale et l'orthodontie vestibulaire :



Figure 80 : l'orthodontie linguale et l'orthodontie vestibulaire <sup>111</sup> .

#### 4.6.1. Généralité :

Depuis quelques années, l'orthodontie doit faire face à une demande accrue de traitements esthétiques, notamment due à l'augmentation du nombre de patients adultes, L'orthodontie linguale semble répondre à cette problématique.

Le concept d'appareillage Orthodontique linguale est né en 1975 aux Etats.Unis et au Japon, lorsque Dr *FUJITA* et du Dr *KURTZ* , inventent les premiers appareils multi attaches positionnés sur les faces linguales des dents , en vue de corriger un sourire disgracieux, de manière « invisible » <sup>112</sup>, Elle a les mêmes principes que les techniques classiques ou les attaches sont positionnées sur la face externe des dents vestibulaires,<sup>113</sup> , s'avère alors totalement esthétique , elle ne peut s'appliquer qu'en denture adulte complet, elle donc réservée en première intention aux adolescents et aux adultes en raison de la difficulté de mis en œuvre et de coût(fig 81). <sup>25</sup>

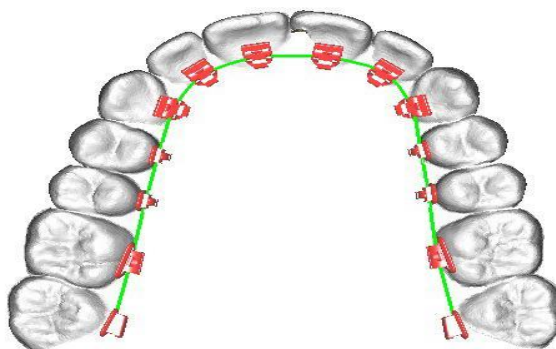


Figure 81 : Appareil orthodontique linguale <sup>113</sup>.

En 1989, le numérique se mêle à cette technique via la CAO en produisant le dessin des arcs (logiciel DALI pour dessin d'arc linguale informatisé) et en 1998 les arcs sont produits par robotique. Puis à partir de 2003, les attaches sont dessinées et produites par l'ordinateur ( Baron P,2014)<sup>101</sup>. C'est aussi

la période où l'orthodontie linguale s'est considérablement développée en France en raison de la démocratisation des traitements personnalisés chez l'adulte l'adolescent.<sup>35</sup>

De nos jours, la fiabilité du collage et la reproductibilité des techniques linguales disponibles permettent d'atteindre des objectifs thérapeutiques élevés.<sup>114-115</sup> Parmi nombreux systèmes existant, en 2001 Wiechmann et le laboratoire Top Service proposent une technique linguale précise, fiable, et avec une attache individualisée pour chaque dent qui est développée puis diffusée dès 2004. C'est la technique *Incognito* de la société 3M dont nous parlerons ici.

#### 4.6.2. Le Système Lingual Incognito:



Figure 82 : *Incognito*<sup>116</sup>.

Le système incognito lingual (fig 82) est bien plus qu'une simple amélioration de ce qui existait auparavant. Ce n'est pas juste une nouvelle attache lingual, ce système exceptionnel a révolutionné l'orthodontie linguale depuis sa création en 2001<sup>117</sup>. Il est totalement individualisé : arcs et attaches sont réalisés informatiquement grâce à la numérisation du set-up final de traitement<sup>118</sup>.

- ❖ Les attaches et les fils orthodontiques sont produits grâce à une technologie de pointe impliquant la CAO/CFAO, le prototypage rapide et la robotique.<sup>117</sup>
- ❖ Un rendu esthétique complet est associé à des résultats de traitement optimum quel que soit le patient.<sup>117</sup>

##### 4.6.2.1. Description :

Le praticien doit effectuer quatre choix :

###### a. Choix des objectifs de traitement :

Ils vont conditionner la fabrication du set-up qui est systématiquement réalisé avant chaque traitement. Chez l'adulte, nous devons prendre en compte les absences dentaires, les reconstitutions plus ou moins fidèles à l'anatomie d'origine et les compromis éventuels dans le plan de traitement.<sup>119</sup>

###### b. Choix des attaches :

Plusieurs options sont proposées permettant de réaliser l'appareil le plus adapté au patient et à la résolution de sa malocclusion (fig 83).



Figure 83 : Des Attaches d'or<sup>120</sup>

**c. Choix des fils :** Différents matériaux (se niti), acier, b-titane) peuvent être utilisés, en différentes sections (ronds, carrés, ou rectangulaires), différentes tailles (du .0012 au 0.0182\*0.025) avec des secteurs latéraux droits ou individuels.<sup>119</sup>

#### d. Choix du la gouttière de transfert:

En technique linguale, la pose des attaches se fait en un seul temps pour chaque arcade. Les gouttières sont idéalement en silicone dure <sup>121</sup>, matériau le plus rigide et qui apporte donc meilleures garanties de précision. Cette gouttière ne peut être utilisée que dans une technique de collage avec procédure chémostabilisable. Dans ce cas, le meilleur choix est celui de gouttière positionnement en bouche et d'un gouttière rigide qui est placée dans un second temps par-dessus la première afin de rigidifier l'ensemble.<sup>119</sup>

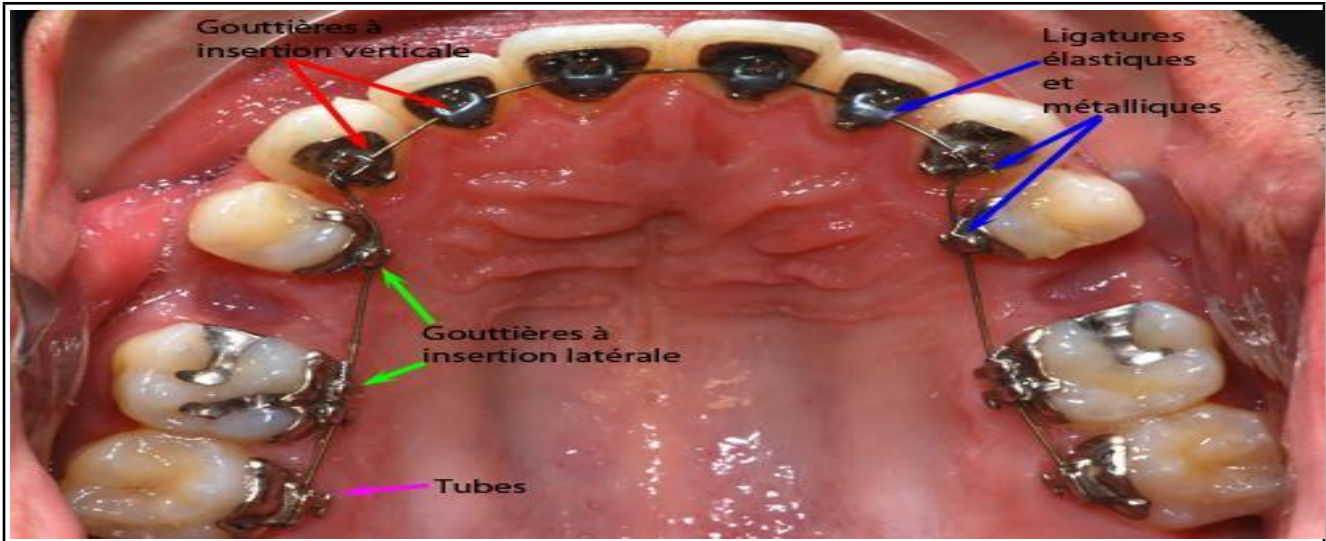


Figure 84 : Incognito™/ broches invisibles/orthodontiste <sup>122</sup>.

Le système incognito est constitué de trois parties :

Une attache fabriquée sur mesure à partir d'un logiciel informatique, une maquette de fin de traitement ou set.up, et des arcs sur mesure assurant le transfert exact de l'information entre l'attache et la dent.

Dans ce système, l'attache est fabriquée sur set.up, ce qui nous permet d'éviter les prescriptions standardisées. La base de l'attache est dessinée individuellement sur chaque dent afin de s'y adapter.

La caractéristique des fils est leur orientation, ils ne sont pas en EDGE WISE (plus grand de côté horizontal) mais en RIBBON WISE (plus grand de côté vertical fig 88). Ces fils en ribbon wise sont insérés par le haut dans la région incisivo canine, par le côté dans la région prémolo molaire. L'orientation du fil permet d'être beaucoup plus proche de la dent ; le type d'insertion est adapté au sens de l'espace que l'on veut contrôler en priorité : le torque dans la région antérieure, l'angulation dans la région postérieure fig 89 <sup>119</sup>

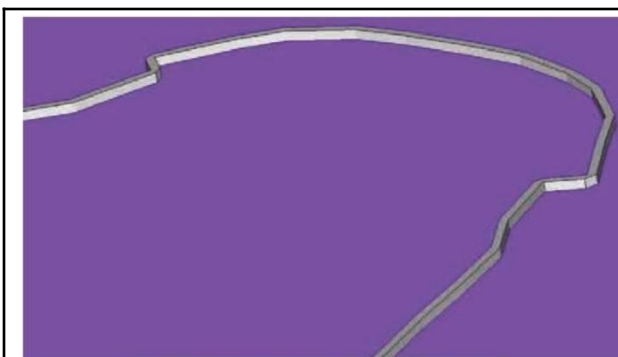


Figure 85: fil en ribbon wise. La grand section est Verticale contrairement au fil en edgewise <sup>119</sup>

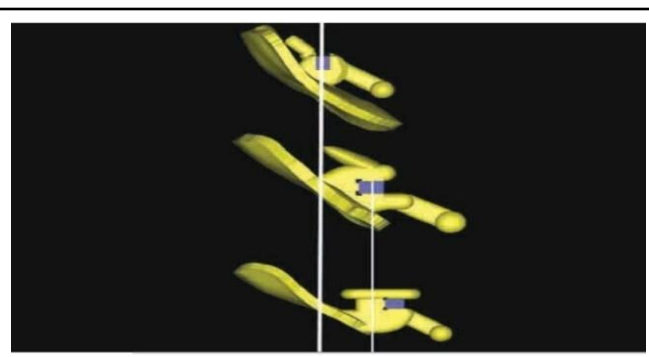


Figure 86: comparaison entre trois attaches incognito du secteur. La première en ribbon wise présente une gorge beaucoup plus proche du centre de résistance de la dent que les suivantes qui sont en edgewise <sup>119</sup>

#### 4.6.2.2. Le Protocol:

1. Le praticien fait un diagnostic complet, une prescription de manière numérique qui décrit ses objectifs de traitement et renseigne les informations obligatoires et optionnelles avec visualisation et valide le plan de traitement à l'aide d'un logiciel spécifique.<sup>35</sup>
2. La prise d'empreinte de silicone par une technique de double mélange permet de constituer une empreinte de qualité qui pourra être coulée plusieurs fois fig 87<sup>119</sup>

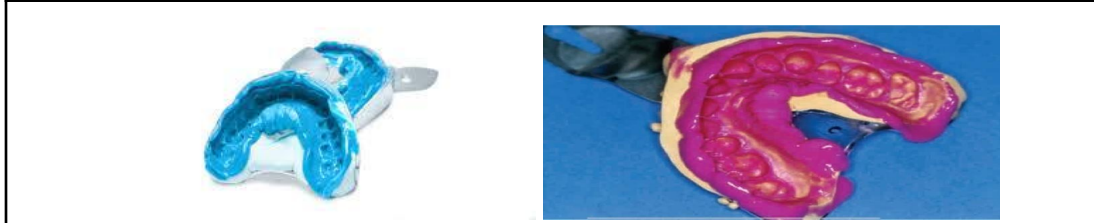


Figure 87 : l'empreinte en silicone présente trois avantages: elle est précise, peut être stockée plus longtemps et peut être coulée plusieurs fois<sup>123</sup>.

3. A partir du modèle de malocclusion, le technicien va fabriquer un set-up(fig 88). Cette maquette, réalisée selon la prescription du praticien, est donc une maquette sur mesure. Le set-up est ensuite scanné pour être transformé en set-up informatique selon une précision supérieure à 20 microns (fig 88)<sup>118</sup>. Sur cette maquette virtuelle, le technicien va dessiner chaque base individuellement et sur chaque base seront placées les gorges, de façon à accueillir passivement les arcs(figure 88).
4. Les attaches virtuelles sont ensuite transformées en cire par un procédé de rapid prototyping(fig 89).
5. Les attaches en cire sont enfin transformées en alliage d'or par un procédé de cire perdue (figure 90.)

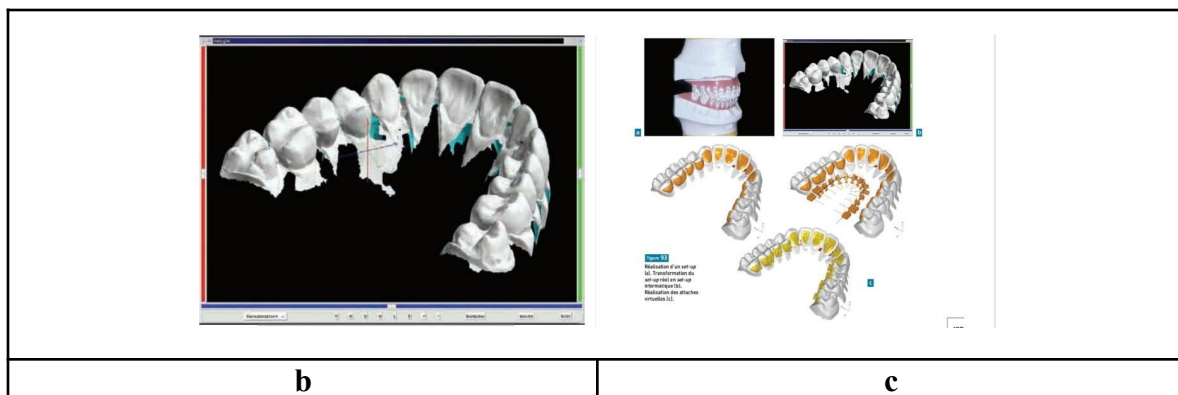


Figure :88 : réalisation d'un set-up a, transformation du set-up réel en se-up informatique b, réalisation des attaches virtuelles c<sup>119</sup>

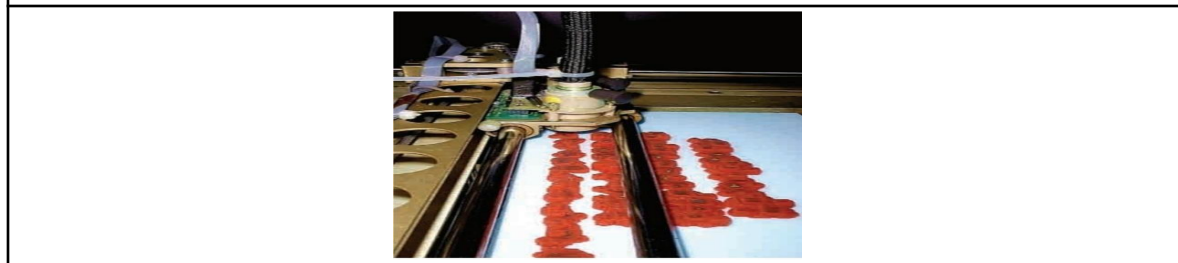


figure 89 : réalisation des attaches En cire avec le rapid prototyping<sup>119</sup>.



Figure :90 : préparation à la coulée (a) et résultat après coulée(b)<sup>119</sup>.

- Les attaches ainsi obtenues sont contrôlées une par une afin de vérifier la taille de leur gorge figure 91<sup>124</sup>. Si une attache ne présente pas les critères de qualité et de précision requis, elle est automatiquement éliminée et de nouveau fabriquée.

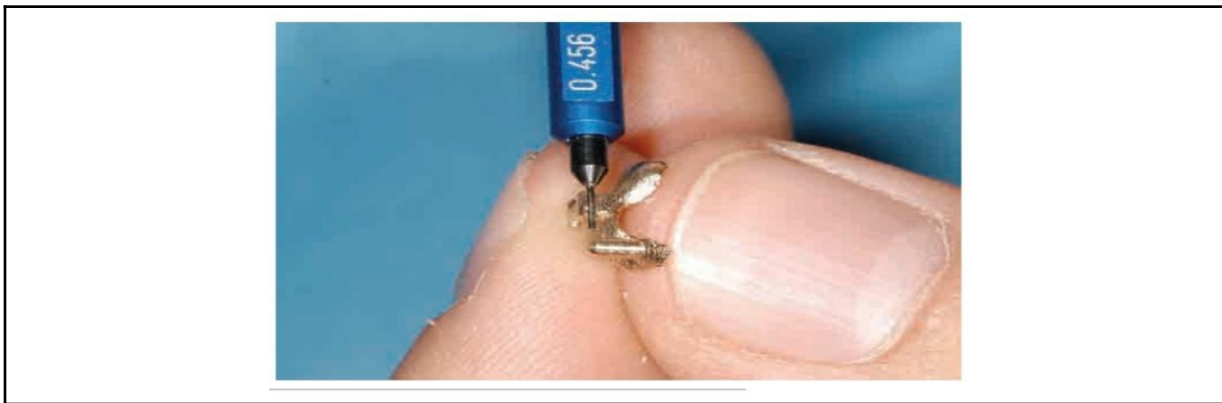


Figure 91: contrôle dimensionnel de chaque attache<sup>119</sup>

- Les attaches sont ensuite positionnées sur le modèle de malocclusion. La forme anatomique des larges bases permet au technicien d'effectuer ce travail avec toute la précision souhaitée figure 92.
- Une fois le positionnement réalisé ; les attaches sont emprisonnées dans la gouttière en silicone si le praticien prévoit le collage avec une colle autopolymérisable (fig93), dans la double gouttière thermoformée transparente dans le cas contraire figure 93.

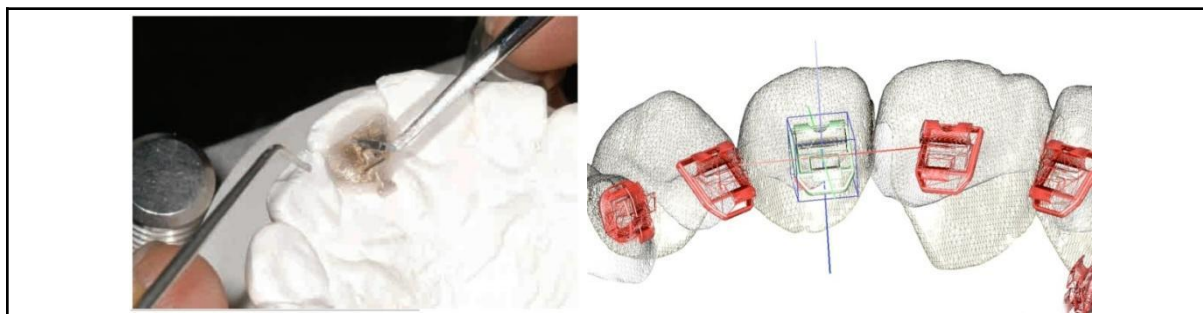


Figure 92 : positionnement des attaches sur le modèle de travail.<sup>119</sup>



Figure 93: gouttière de transfert. Selon la méthode de collage choisie, la gouttière de transfert sera en silicone dur opaque ou en matériau thermoformé transparente<sup>119</sup>

Afin de rester au plus près du centre de résistance de la dent, les attaches sont placées au contact direct des faces linguales sans compensation d'épaisseur. Ce système implique l'utilisation de fils comportant des déformations de premier ordre. La fabrication robotisée des fils assistée par ordinateur renforce l'extrême précision du système<sup>125</sup>

La multiplicité des alliages disponibles en orthodontie permet de diminuer la durée des traitements<sup>126</sup> le robot est capable de plier l'ensemble des ces alliages avec une précision constante<sup>127</sup>.

- Le collage sur les faces linguales s'effectue en méthode indirecte. Cette technique permet d'équiper l'ensemble de l'arcade en un seul temps dans les meilleures conditions sur le plan du confort comme des résultats. Les colles employées sont chémo polymérisables<sup>128</sup> (fig 94). Les surfaces linguales sont au préalable traitées avec un microsablage à l'oxyde d'alumine à 50 um.





Figure 94 : produits de collage. Ils peuvent être chémo polymérisables ou dual cure<sup>119</sup>.

La fabrication numérique se réalise ainsi, le technicien à l'aide d'un logiciel dessine les bases des attaches pour que celles-ci correspondent au maximum à l'anatomie de la dent (0.3 à 0.5 mm d'épaisseur), puis le corps de l'attache est choisi en fonction des mouvements dentaires à opérer et du type de malocclusion à corriger. Après fusion de ces différents constituants, le positionnement numérique du corps sur sa base se fait automatiquement selon un plan horizontal préalablement choisi sur le set-up numérique, plan passant par toutes les gorges. Le principe de fabrication d'attaches individualisées garantit une relation arc/gorge optimale permettant d'incorporer des informations d'hyper corrections en fonction des impératifs thérapeutiques.

De point de vue informatique, le système incognito, utilise le logiciel Unitik Treatment Management Portal dont les spécificités principales sont :

- L'obligation de respecter un questionnaire précis fixant les paramètres de la thérapeutique, tels que l'alignement des lignes médianes, le choix des relations d'occlusion, la volonté de réduction interproximal, la forme ou la largeur des arcades ou encore le nivellement ou le recouvrement incisif. -
- Le choix des types d'attaches, d'arcs et de la gouttière de transfert (fig 95).

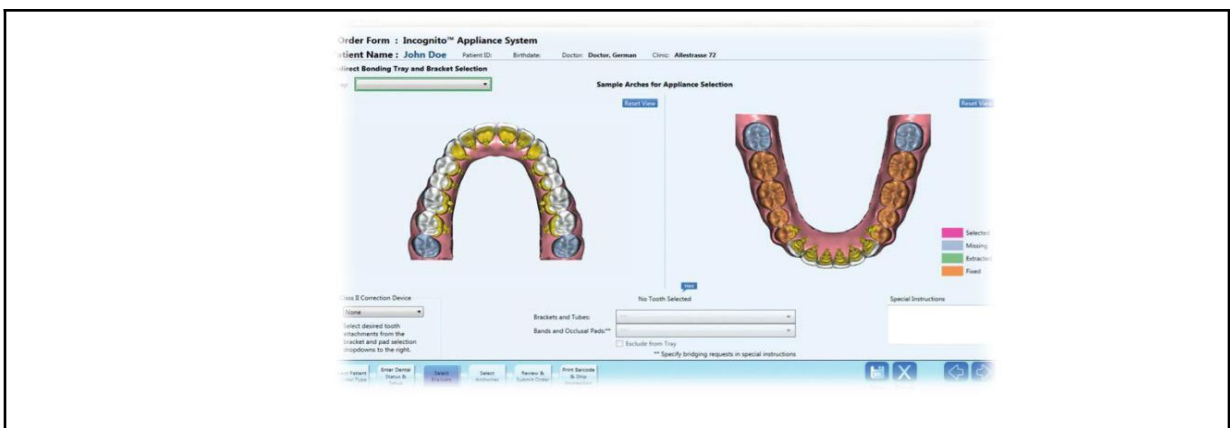


Figure 95 : choix des attaches<sup>35</sup>

- La visualisation interactive de la prescription sous forme d'un setup modifiable, avec la mise à disposition de nombreuses vérifications (alignement, recouvrement, etc) par le logiciel de configuration numérique Set-Up Lab.
- L'utilisation de la superposition des modèles pour vérifier les mouvements réalisés entre la situation initiale et le set-up virtuel (fig 96).<sup>35</sup>



Figure 96 : superposition des modèles<sup>35</sup>

### 4.6.3. Les avantages:

De nombreux orthodontistes à travers le monde ont choisi la voie Incognito, en vu que leur nombreux avantages.<sup>128</sup> :

- Il n'y a pas de risque de déminéralisation vestibulaire.
- La coordination des arcades est prise en compte.
- La discrétion du dispositif qui favorise l'esthétique.
- La grande possibilité de choix de prescription pour le praticien (paramétrage)
- Un ouvert.torque est placé dans les arcs de rétraction.
- L'encombrement se veut réduit au maximum, tout en conservant des surfaces de collage importantes.
- Les bases des attaches sont conçues afin de supprimer toute interférence occlusale en fin de traitement.
- Les effets parasites sont réduits grâce à une distance dent/gorge faible .<sup>129-130</sup>

### 4.6.4. Les inconvénients:

- Pour les patients: Irritations linguales, troubles phonatoires, difficultés d'hygiène, modifications masticatoires avec des gênes alimentaires en plus le coût élevé.
- Pour le praticien: nécessité de l'apprentissage de la technique spécifique relativement complexe obligation d'un niveau de concentration élevé et constant avec un temps de travail au fauteuil augmenté<sup>35</sup>

### 4.6.5. Les indications:

« Tous les cas qui peuvent être traités en orthodontie vestibulaire peuvent être traités en orthodontie linguale » tel était le point du vue théorique du docteur Toshiaki Hiro en 2008.<sup>131</sup>

Les indications du traitement lingual spécifiques à cette technique sont une hypoplasie de l'émail, un état gingival altéré avec une gencive inflammatoire hyperplasique, une demande esthétique, le refus psychologique d'appareillage vestibulaire.

Les limites de cette technique sont en rapport avec l'hygiène car les bases sont polies afin d'éviter au maximum l'accrochage de la plaque dentaire mais leur situation linguale augmente le risque de dépôt et un recouvrement important<sup>35</sup>.

## 4.7. les techniques en chirurgie maxillo-faciale:

Comme dans tous les secteurs de la chirurgie, le numérique offre de nouvelles perspectives en chirurgie maxillo-faciale. Nous pouvons évoquer deux secteurs : la planification de la chirurgie envisagée (prévisualisation, modélisation du geste chirurgical et chirurgie guidée) et une nouvelle technique chirurgicale.

**Du point de vue de la planification ;** le geste chirurgical peut être désormais simulé en amont de manière virtuelle sur le massif facial numérique du patient et son impact sur les tissus mous du visage peut ainsi être apprécié.

Plus précisément, les logiciels de planification permettent :

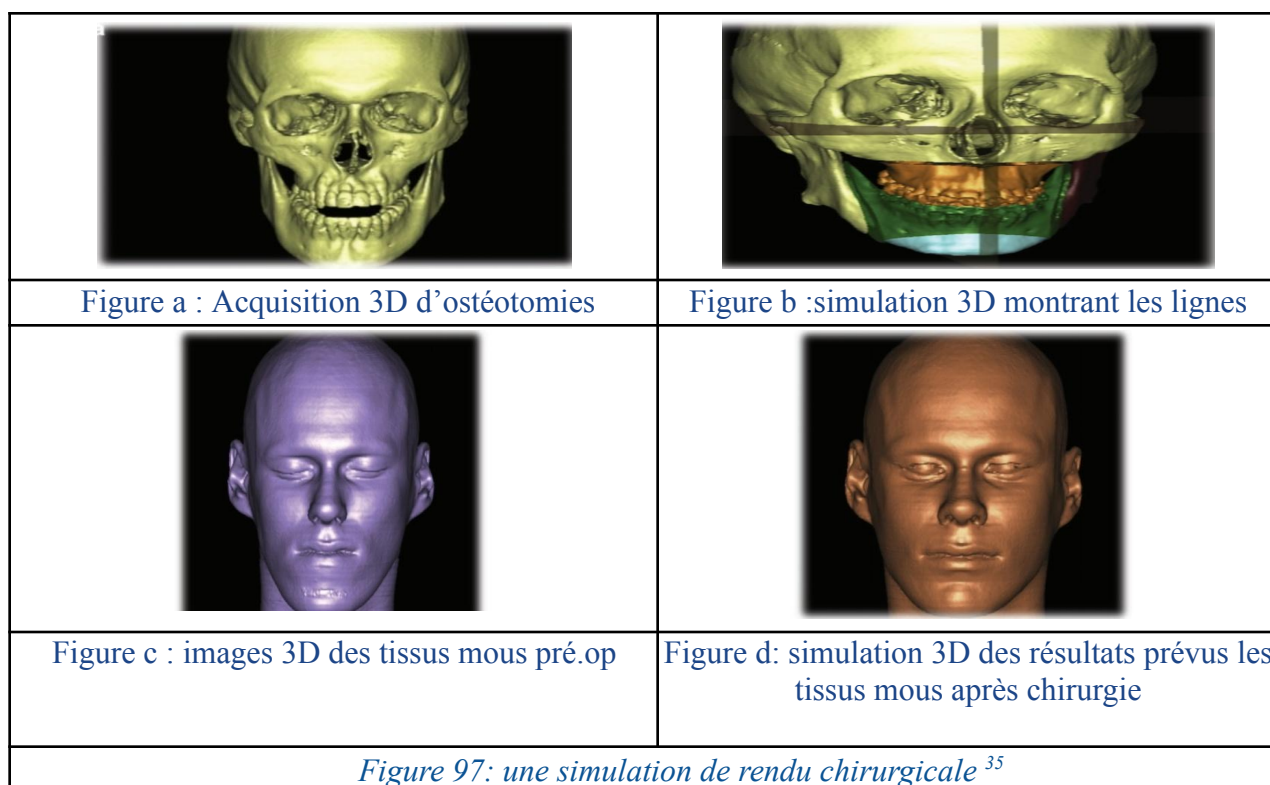
- L'analyse en trois dimensions des voies aériennes avant et après simulation du geste chirurgical-.
- La mise en évidence et le marquage des éléments anatomiques (nerf mentonnier, artère palatine descendante) -.

- La segmentation des différentes parties ( sinus, voies aériennes maxillaires, mandibulaires, extractions virtuelles ).
- La conception des guides de découpes osseuses pour les ostéotomies maxillo faciales.-
- La simulation des ostéotomies des bases osseuses avec guide de coupe et préforage indiqués.-
- L'intégration des photos du visage du patient pour une simulation de l'enveloppe faciale avec le rendu esthétique des modifications après la chirurgie.-
- La réalisation d'un set-up chirurgical.-
- La conception des mini plaques de contention pour la chirurgie, préfabriquées selon l'anatomie du patient et l'importance du déplacement.<sup>35</sup>

Par exemple, l'article,( Cevidanes LH, 2010)<sup>132</sup> montre l'intérêt de disposer d'un logiciel tel que CMFApp(en cours de développement à l'Institut Maurice Muller( MEM) en suisse)pour maîtriser la mise au point du geste chirurgical . en effet , le maillage résultant d'un segment osseux est difficile car l'anatomie du massif facial est particulièrement complexe avec des régions où l'os est très fin, tel que le plancher de l'orbite, ce qui crée des discontinuités dans le maillage et des structures internes comme le nerf mandibulaire qui doivent être pris en compte dans le modèle.

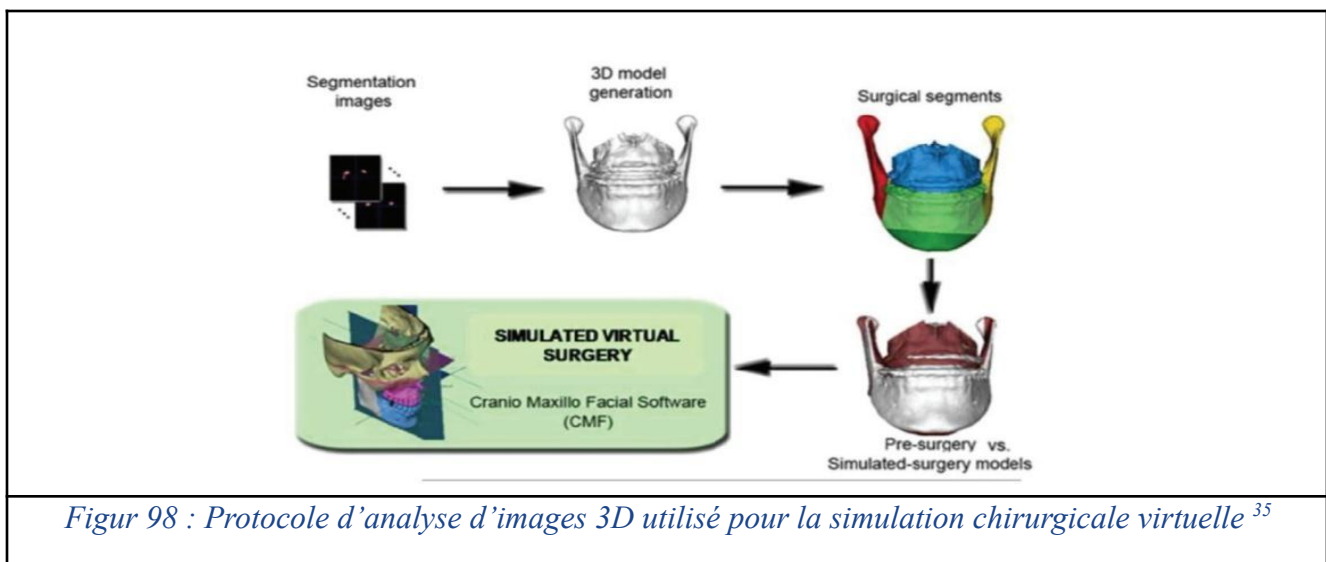
Dans ce logiciel CMFApp , les ostéotomies sont simulées par des combinaisons de coupes planes dans le modèle squelettique . Cette étape sert de planification des coupes anatomiques avant l'intervention chirurgicale. Elle permet aussi la planification de la position et de la taille des vis et des plaques de fixation. Toute modification d'une position d'une position d'un point de repère sur le volume maxillofacial est immédiatement répercutée sur les mesures céphalométriques 3D ce qui guide la quantification et l'appréciation (fonctionnelle, musculaire, esthétique, etc) des changements à réaliser.

Pour illustrer cela, utilisons des iconographies commentées du logiciel SimPlant OMS de matérialiser sur lesquelles nous pouvons apprécier une simulation de rendu chirurgicale.figure 97

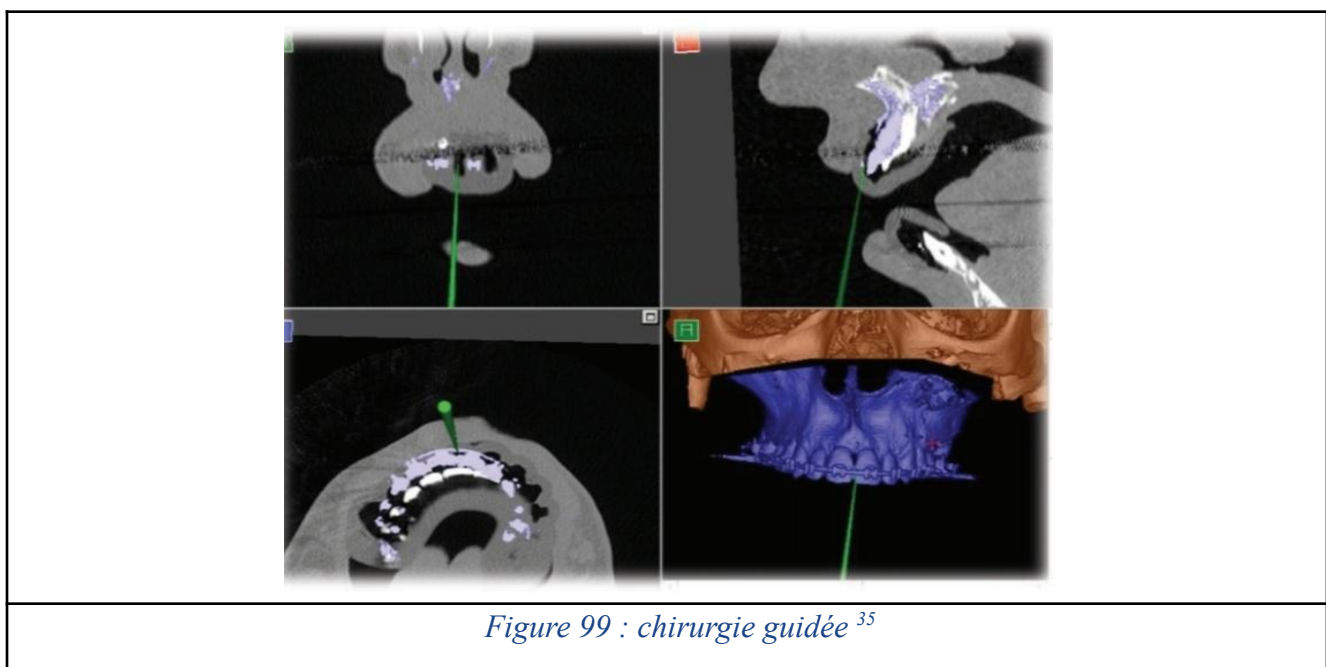


En matière de nouveauté au niveau de la planification, la chirurgie guidée , née en neurochirurgie pour permettre d'atteindre des zones spécifiques dans le cerveau, est aussi en plein essor en ODF.

Dans ce domaine , la simulation par ordinateur a le potentiel d'accroître la prévisibilité dans la salle d'opération <sup>133</sup>. Le guidage est l'aboutissement de l'application du numérique : l'assistance. le guidage. Consiste à proposer au praticien, grâce aux techniques d'imagerie 3D, d'ostéotomie et de repositionnement virtuel, la série d'actes à effectuer pour parvenir aux résultats définis virtuellement. (fig 97)



Dans ce schéma, une méthode pour transférer la planification virtuelle tridimensionnelle individualisée du patient directement dans la salle d'opération a été proposée par l'étude de (MAZZoni S,2010)<sup>134</sup> ainsi que celle de (CIVIdanes LH,2010)<sup>132</sup>. Elle repose sur la superposition de l'instrument virtuel sur les données d'imageries tridimensionnelles et montre que la navigation guidée serait une procédure utile lors de la chirurgie orthognathique pour faciliter l'obtention du résultat prévu et améliorer la reproductibilité de la planification chirurgicale préopératoire virtuelle. Un exemple complet de chirurgie guidée de classe 2 est donné dans (Sadiq Z,2012)<sup>135</sup>.(figure 99).



Du point de vue chirurgical grâce au numérique, de nouveaux modes opératoires lors de chirurgies du massif facial voient le jour.

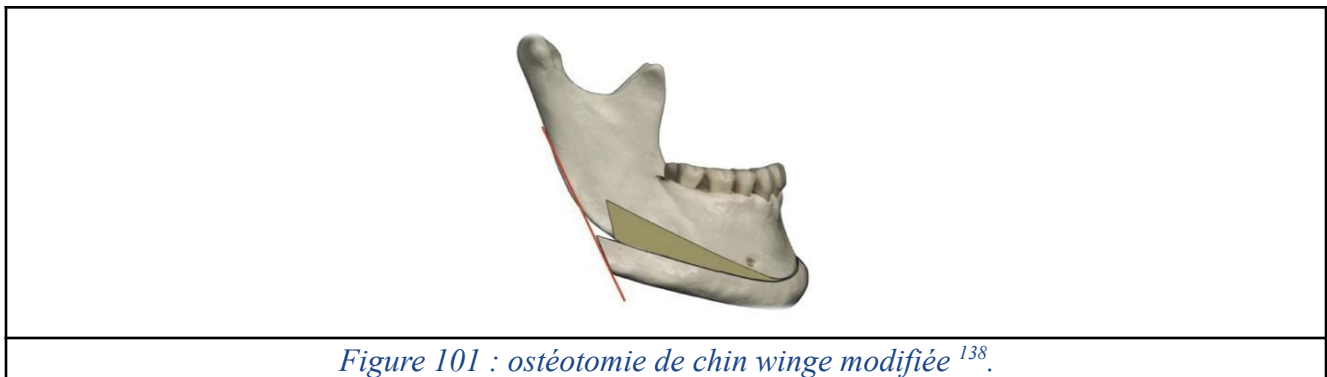
Un exemple significatif concerne l'ostéotomie du menton. La technique d'Albino Triaca nommée ching wing développée dans les années 2010 est une chirurgie traitant les asymétries faciales ainsi que les classes 3 chirurgicales (par exemple). Lors d'une telle chirurgie, le plan occlusal ainsi que les os mandibulaires sont corrigés et il est possible de traiter indépendamment le côté droit et gauche du patient. Cette thérapeutique est donc axée sur la correction du plan mandibulaire. Elle peut, abaisser un angle mandibulaire, corriger la hauteur de la branche horizontale et permet donc de corriger des compensations de hauteur alvéolaires excessives.

Pour les asymétries, la technique est basée sur un repositionnement des fragments osseux avec une correction de l'angle gaonique, acteur important de la symétrie du visage. Dans cette technique, la fractionnement sur la ligne médiane permet le positionnement du segment de coupe plus latéralement et corrige le manque de largeur de l'angle. Avant la réalisation de l'ostéotomie du menton, il est nécessaire d'identifier la position du canal alvéolaire inférieur méticuleusement sur l'image 3D. Il

semble particulièrement important que le segment de coupe d'os après cette opération bénéficie de nouveau d'une vascularisation suffisante. <sup>136</sup> (fig 100).



Une exemple significatif de chirurgie de classe 3 sur un patient de type hyperdivergent est décrit dans l'article de (Hammoudeh JA, 2015) <sup>137</sup> avec une ostéotomie leFort 1 classique et un avancement maxillaire augmenté d'une rotation antihoraire et d'un recul par ostéotomie de wing modifiée. Ceci est un moyen simple et efficace de réduire le défaut sagittal de la mandibule, de corriger son hyperdivergence, et d'atteindre la compétence labiale avec un contour labial bien défini et une anatomie harmonieuse de l'angle. Ainsi, le geste thérapeutique est moins traumatisant pour les articulations temporo-mandibulaires et sur les dimensions des voies aéro-digestives supérieures (fig 101).



La chirurgie orthodontique englobe une vaste quantité d'actes chirurgicaux agissant sur tous les tissus du massif maxillo-facial. A ce titre, autant pour la planification que pour la thérapeutique, les apports récents du numérique évoqués dans cette partie ouvrent de nouvelles perspectives.

## 5. Les nouvelles technologies en orthodontie numérique :

Avec le progrès de la science et le développement numérique, les nouvelles technologies bouleversent le domaine dentaire, notamment en orthodontie. Elles évoluent de jour en jour permettant aux professionnels d'offrir de meilleurs services à leurs patients, nous citons :

### 5.1. L'intelligence artificielle:

Les applications de l'Intelligence artificielle (IA) dans le domaine dentaire se développent rapidement. En orthodontie, des systèmes d'IA ont été développés pour automatiser le tracé céphalométrique, pour aider à la prédiction de la croissance ou à la détermination de la maturation cervicale entre autres, Ainsi l'intelligence artificielle capable de prédire les plans d'extraction dentaire avec une précision comparable à celle des experts en la matière. <sup>139</sup>

L'utilisation de systèmes conversationnels alimentés par des modèles d'IA comme ChatGPT, qui sont contextualisés avec les informations des patients, fournira des réponses plus personnalisées et cliniquement précises aux patients, ainsi le ChatGPT aide à la décision clinique, joue un rôle important dans les recommandations des dentistes pour les soins aux patients <sup>140</sup>.

A travers l'exemple du logiciel Dental Monitoring, nous comprendrons à quel point l'intelligence artificielle constitue une aide précieuse, que ce soit pour le diagnostic, le pronostic ou la thérapeutique orthodontique <sup>141</sup>.

### 5.2. La réalité virtuelle :

La réalité virtuelle est la combinaison de plusieurs technologies permettant aux utilisateurs d'interagir avec des entités virtuelles en temps réel <sup>142</sup>.

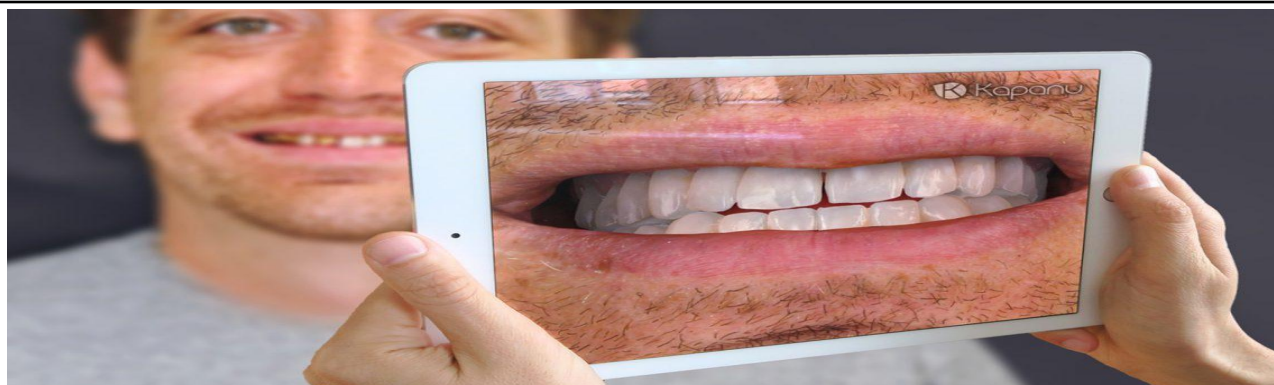
L'informatique médicale et les options entièrement «personnalisables» de visualisation 3D interactive (VR) combinées à la puissance de la technologie informatique de bureau contemporaine permet maintenant la discipline de spécialiste dentaire de l'orthodontie d'établir une norme internationale pour les traitements orthodontiques pour chaque orthodontiste et patient. Avec l'utilisation des technologies informatiques VR; l'orthodontiste peut maintenant spécifiquement, uniquement et expertement diriger la fabrication intégrée de l'inventaire et de la prescription d'appareils orthodontiques sur une personne, optimale, exacte et la plus précise, base spécifique au patient <sup>143</sup>.



*Figure 102 : La Réalité Virtuelle pour la consultation dentaire <sup>164</sup>*

### 5.3. La réalité augmentée:

La réalité augmentée (RA) est un type de technologie dans lequel l'environnement est amélioré par le processus de superposition de contenu virtuel généré par ordinateur sur la structure réelle, cette technologie vise principalement à améliorer la pratique clinique dans le domaine de la dentisterie, car l'information clinique générée peut être directement visualisée sur le patient <sup>144</sup>, en combinant le monde réel avec le monde numérique grâce à l'utilisation de vidéos, d'images et de modèles tridimensionnels.



*Figure 103 : Logiciel de réalité augmentée développé par la société suisse Kapanu <sup>165</sup>*

La réalité augmentée permet :

- ★ **Apprentissage de la céphalométrie orthodontique par la réalité augmentée:** La céphalométrie orthodontique constitue un examen radiographique idéal qui sert de moyen de diagnostic utile pour l'analyse et la planification du traitement. L'individualité de l'AR est que l'enregistrement des objets virtuels se produit dans le monde réel, ce qui permet à l'utilisateur

de s'assurer que les objets virtuels 3D chevauchent le monde réel. Pour cette raison, la technologie de l'AR est une bénédiction pour la dentisterie car les structures internes complexes du corps sont virtuellement recréées au cours d'un format 3D formant un outil superbe pour l'apprentissage des céphalométries <sup>145</sup>.

★ **Positionnement des brackets sur les dents dans le cadre du traitement :** La position idéale du support est vitale pour un traitement orthodontique efficace. Grâce au système de navigation par support assisté par AR, la précision de positionnement des supports s'est améliorée et le temps de procédure de l'étape de laboratoire a donc diminué. <sup>145</sup> L'utilisation du système AR augmente le taux de précision dans toutes les directions spatiales et aide l'orthodontiste novice à guider la position du support avec une erreur clinique appropriée d'environ 0,5 mm. Ce système réduit également la complexité et la durée du traitement, ce qui réduit davantage le temps de chaise clinique, donnant ainsi des résultats habiles et précis.

## **6. Les avantages du numérique :**

Le développement numérique est devenu un excellent investissement dans le domaine dentaire. Il permet :

### **6.1. De travailler mieux et plus vite :**

Les outils numériques aident à travailler plus précisément et plus rapidement, selon Wouter : « Grâce aux scanners, nous obtenons une image complète de la dentition d'un patient <sup>146</sup>. De plus, avec l'imagerie numérique, le processus est non seulement plus performant, mais aussi plus efficace.

### **6.2. Une meilleure expérience et confort du patient :**

L'un des principaux avantages de la dentisterie numérique est l'amélioration de l'expérience et du confort des patients. Par exemple, l'impression traditionnelle peut être très désagréable pour les patients en raison des matériaux d'impression inconfortables. Les scanners intra-oraux peuvent augmenter considérablement la productivité, l'efficacité et la précision <sup>147</sup>.

### **6.3. Une communication efficace avec les patients et les laboratoires:**

Les solutions numériques permettent aux patients de visualiser facilement les résultats du traitement et de voir les progrès réalisés <sup>148</sup>. En voyant des images 3D en temps réel de leur état buccal fournies par des scanners intra-oraux, les médecins peuvent mieux communiquer avec leur patients . La technologie numérique simplifie également le flux de travail entre les cliniques et les laboratoires, offrant la liberté d'optimiser la vitesse, la facilité d'utilisation ou le coût, selon le cas.

### **6.4. Un diagnostic plus efficace et plus sûr des problèmes buccodentaires:**

Les caméras intra buccales peuvent facilement montrer l'intérieur de la bouche et produire des images des dents et des structures des gencives. Les radiographies numériques peuvent également être prises à l'intérieur de la bouche, produisant des images à haute résolution et 80 à 90 % moins de rayonnement que les radiographies dentaires traditionnelles <sup>149</sup>. Ces technologies sont des outils de prévention et de diagnostic essentiels qui fournissent d'excellents renseignements sur les problèmes bucco dentaires.

### **6.5. La superposition et la comparaison des données numérisées:**

Lors du suivi de la progression du traitement, certaines conditions, telles que la situation préopératoire, peuvent être analysées puis comparées à une seconde analyse, superposée à l'analyse initiale. De cette manière, les changements possibles peuvent être identifiés et les problèmes rapidement détectés. L'équipe peut utiliser ces données pour décider quel type de traitement est approprié ou nécessaire <sup>150</sup>.

## **6.6. L'écologie:**

En plus de générer moins de déchets, la numérisation des empreintes dentaires n'utilise que très peu de produits et ne nécessite aucun transport <sup>151</sup> : tout est numérique! Envoyer un courriel et entreposer l'empreinte dentaire numérique ne demande que très peu d'énergie comparativement au transport de l'empreinte vers un laboratoire. La fabrication des moules traditionnels demandait également de nombreux produits, qui devaient également être livrés à la clinique.

## **7. Les limites du numérique:**

### **7.1. Le coût:**

La principale limite de la plupart des domaines de la dentisterie numérique est le coût, les coûts initiaux associés à l'équipement numérique constituent un inconvénient majeur des cabinets dentaires. Acheter le matériel informatique et les logiciels, et les capteurs d'imagerie numérique peuvent être coûteux. Et tout comme l'équipement dentaire, il y a la maintenance, les réparations, les mises à jour logicielles et le remplacement de l'équipement <sup>152</sup>.

### **7.2. L'adaptation au numérique:**

L'un des écueils courants de l'adoption des nouvelles technologies dentaires est le manque de volonté de la part du clinicien et de l'équipe d'être adéquatement formés <sup>153</sup>. Certains cliniciens achèteront une nouvelle technologie, mais ils ne liront jamais le manuel du propriétaire ou ne suivront pas de formation avancée sur la façon d'utiliser la technologie efficacement, ce qui entraînera souvent des défaillances et des abandons importants.

### **7.3. L'ergonomie:**

Elle se définit comme « la meilleure adaptation entre une fonction, son matériel et son utilisateur » Le praticien devra donc déterminer quelle sera la disposition qui intégrera au mieux de matériel numérique dans sa salle de soins. Il doit être facilement accessible et ne pas interférer avec les zones stratégiques de soins afin de ne pas nuire au confort de travail de l'équipe médicale <sup>154</sup>.

### **7.4. Les pannes:**

La panne peut entraîner une interruption temporaire de l'activité du cabinet. Toutes les fonctions informatisées sont alors inutilisables <sup>154</sup>. La panne de courant empêche tout fonctionnement de matériel électrique. L'utilisation de modulateurs (pouvant jouer le rôle de générateur électrique) peut permettre au praticien de sauvegarder ses données avant la coupure totale.



**Conclusion:**

En conclusion, le numérique a pris aujourd'hui une place prépondérante dans notre activité orthodontique, en s'insinuant dans chacune des étapes parcourue par le patient. Ce nouveau monde connecté a permis à notre profession d'augmenter la qualité et la reproductibilité de ses soins, tout en augmentant le confort du patient et du praticien.

L'orthodontie numérique a transformé le domaine de l'orthodontie en offrant une gestion du cabinet plus facile, des techniques de diagnostic et de traitement plus précises et plus efficaces. Grâce à des technologies avancées telles que l'imagerie 3D, l'empreinte optique, l'analyse céphalométrique, les scanners intra-oraux et la CFAO, les orthodontistes peuvent poser un diagnostic et planifier des traitements personnalisés, améliorant ainsi la communication entre le patient et son orthodontiste

Dans une clinique orthodontique entièrement numérisée, tous les appareils sont reliés entre eux et intégrés dans un flux de travail numérique, de A à Z.

## Bibliographie :

- 1) Laloux Frédéric soins d'orthodontie adultes, enfants et adolescents à Amie
- 2) LECLERCQ Pierre .Orthodontiste à Port-de-Bouc, (2022, February 17).
- 3) Stockage d'équipement professionnel à Paris & IDF - Une Pièce en Plus. (n.d.)
- 4) Bonte, E. (2019, March 22). Empreintes et moulages en ODF - L'Information Dentaire. Les moulages en orthopédie dento-faciale : apport de l'informatique | Dossiers du mois. (2009, October 10)
- 5) Piteu, A. L. a. M. F. (2020b, September 30). Empreinte en prothèse fixée : polyéthers versus silicones par addition - Partie 2 - L'Information Dentaire. L'Information Dentaire
- 6) BENUWT A. Utilisation clinique des moulages orthodontiques. Inf.dent., Tome 76, N° 5, 1994
- 7) Hlongwa, P. (2019). Cephalometric analysis : manual tracing of a lateral cephalogram. South African Dental Journal, 74(6).
- 8) Professional, C. C. M. (s. d.). Teeth Braces. Cleveland Clinic.
- 9) Points - Lignes - Plans - Cecsno. (n.d.).
- 10) Kern, J. (n.d.). *Orthodontie : des appareils dentaires invisibles et plus confortables*. Futura
- 11) Dahan, S. (2019, 16 avril). Le set-up numérique la révolution de l'orthodontie digitale.
- 12) Dahan Dahan et Boissi Nicolas- Fil dentaire – le Set-Up numérique la révolution de l'Orthodontie digital. 22.04.Orthodontie
- 13) Mistral-orthodontiewp-content/uploads/2020/11/NUMERIQUE-EN-ORTHODONTIE
- 14) L'espace numérique de santé est mis en oeuvre | Institut national de la consommation
- 15) Odaiji. (2023, May 11). Odaiji - Le logiciel médical réinventé
- 16) Chignoli Élisabeth. Nouveaux apports des technologies numériques en orthopédie dento-faciale. Médecine humaine et pathologie. 2016. ffdumas-01470987
- 17) Terrasse Maxime Jean Thèse : contribution à l'utilisation des photographies en orthodontie
- 18) Lafond Joanne . (2022, octobre). Centre Orthodontique Lafond - Orthodontiste À Repentigny.
- 19) Journeaux Sophie. La radiographie panoramique dans le dépistage des lésions bucco-dentaires : étude rétrospective au CHU de Nice. Médecine humaine et pathologie. 2017. ffdumas-01666126.
- 20) Forest Denis; Mise au point sur la publication d'un article concernant les radiographies dentaires Complément d'information, Denis Forest, Ordre des dentistes du Québec, Avril 2012.
- 21) Phœbé Kamioner , chirurgien-dentiste à Paris et Champs-sur-Marne Dernière mise à jour des informations médicales le 7/5/2023 Source HAS
- 22) Bentahar Z. , Bourzgui F. , Ousehal L. , Baite M., F. El Quars Service d'Orthopédie Dento-Faciale Centre de consultations et de traitements dentaires CH Ibn Rochd de Casablanca
- 23) BOUZOUBA SM. , BENYAHYA I. , Service d'Odontologie Chirurgicale - CCTD de Casablanca Faculté de médecine dentaire de Casablanca Université Hassan II
- 24) Foucart Michel /Papelard nicolas /laurent petitpas/jérôme bourriau Revue d'orthopédie dento-faciale february 2021
- 25) Tarot Philippe -SCM Aveniortho.(De l'Oulle-Avignon-Fr, P. T. R. R. (s. d.)). Invisalign : gouttières invisibles. Depuis 2002 au cabinet Aveniortho.
- 26) Kesling H. The diagnostic setup with consideration of the third dimension. Am J Orthod 1956 ; 42:740-8 2. Pitts T. Begin with the end in mind and finish with beauty. Eur J Clin Orthod 2014 ; 2:39-46 3. Miller rJ, Derakhshan m. Three-dimensional technology improves the range of orthodontic treatment with esthetic and removable aligners. World J Orthod 2004 ; 5:242-9 4. Chen S, Xu Tm. Treatment of a severe transverse dental arch discrepancy assisted by 3-dimensional planning. Am J Orthod Dentofac Orthop 2013 ; 143:105-15 5. Barreto mS, Faber J, Vogel cJ et al. Reliability of digital orthodontic setups. Angle Orthod 2016 ; 86:255-9
- 27) Point Gauthier , Université Paris Cité Conférence : Journées de l'Orthodontie 2017At
- 28) ARASH ZARRINPOUR / lefildenaire.com
- 29) Miller RJ, Derakhshan m. Three-dimensional technology improves the range of orthodontic treatment with esthetic and removable aligners. World J orthod 2004 ;5 :242-9.
- 30) BARRETO MS, FABER L , VOGEL CJ , ARAUJO TM Reliability of digital orthodontic setup . Angle Orthod . mars 2016 ;86(2) :255-5.

- 31) CAMARDELLA L, ROTHIER EKC, VILELLA OV, ONGKOS SUWITO EM, BREUNING KH. Virtual setup : application in orthodontic practice. J Ortfac Orthop. Nov 2016 ;777(6) :409-19.
- 32) HOU D, CAPOTE R, BAYIRLI B , CHAN DCN , HUANG G . The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. Avr 220 ;157(4) :542-9.
- 33) 3.14 Informatique et orthodontie.pdf. (s. d.). Scribd.medecine.univ-sétif
- 34) laboratoire lionet
- 35) les nouveaux apports des technologies numériques en orthodontie dento faciale. 2016 ;42-57-16-32.
- 36) CHEN S, XU TM. Treatment of a severe transverse dental arch discrepancy assisted by 3-dimensional planning. Am J Orthod Dentofac Orthop 2013 ;143 :105-15.
- 37) Meereis et al., Digital smile design for computer-assisted esthetic rehabilitation: two-year follow-up
- 38) Coachman et Calamita, « Digital smile design: a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry ».
- 39) Kokich VO, Jr Kiyak HA, « Comparing the perception of dentists and lay people to altered dental esthetics »
- 40) Arnett, Bergman, « Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I ».
- 41) Fradeani, Réhabilitation esthétique en prothèse fixée. Analyse esthétique, 2006
- 42) Vig et Brundo, « The kinetics of anterior tooth display ».
- 43) Tjan, Miller, et The, « Some esthetic factors in a smile »
- 44) Ricketts, « Divine proportion in facial esthetics ».
- 45) Ricketts, « The biologic significance of the divine proportion and Fibonacci series ».
- 46) Levin, « Dental aesthetics and the golden proportion. »
- 47) Lombard, « The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics ».
- 48) Preston, « The golden proportion revisited ».
- 49) Rosenstiel, Ward, et Rashid, « Dentists' preferences of anterior tooth proportion : a web-based study ».
- 50) Mahshid et al., « Evaluation of “golden proportion” in individuals with an esthetic smile ».
- 51) Dalaie K. et al, “Maxillary anterior teeth width proportion a literature review », 2017.
- 52) Ward, « Using the RED proportion template to create a beautiful smile »
- 53) Brisman, « Esthetics : a comparison of dentist's and patients' concepts »
- 54) Fradeani M., « Esthetic analysis - a systematic approach to prosthetic treatment ».
- 55) Paolucci et al., The art of dental composition.
- 56) Chu et al., « Gingival zenith positions and levels of the maxillary anterior dentition ».
- 57) Tarnow DP, Magner AW, « The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla ».
- 58) Coachman et Calamita, « Digital smile design : a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry ».
- 59) Pauline Haïm. Apport du Digital Smile Design dans la prise en charge pluridisciplinaire des dysharmonies dento
- 60) Descamp F, Fages M, Duret F. La CFAO en odontologie. Editions CdP. Paris; 2016. 100 p.
- 61) Etienne O, Taddei C, Baixe S, Kress P. Apport de la CFAO en prothèse amovible partielle. La Prothèse. 2010 ; (152) : 43-59.
- 62) Roques C. La CFAO dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire et en laboratoire dans la région Midi-Pyrénées en 2013 étude épidémiologique, Thèse d'exercice, Toulouse, 2014
- 63) Tregerman I, Renne W, Kelly A, Wilson D. Evaluation of removable partial denture frameworks fabricated using 3 different techniques. J Prosthet Dent. 1 avr 2019; Oct;122(4):390-395.
- 64) Petit Normand , « Extraction/Implantation mise en esthétique immédiate en CFAO : à propos d'un nouveau protocole », 2015

- 65) Jordan F, Cordelette M, Civel P, CFAO directe : une réponse de choix aux objectifs de restauration partielle collée, Edition CDP, Clinic n°03 Mars 2017, 38 :179-187
- 66) Fabry J. Intégration de la CFAO directe en cabinet, Thèse d'exercice, Marseille, 2018
- 67) Khedhiri-Derouich C. La pratique quotidienne de la CFAO en cabinet dentaire. Volume 1, Présentation des matériaux et indications cliniques sur dent naturelle, Thèse d'exercice, Paris, 2018
- 68) Castello Matthieu . Réalisation d'une prothèse amovible partielle à infrastructure métallique par CFAO : le support vidéo comme outil pédagogique. Médecine humaine et pathologie. 2020. ffdumas03040812
- 69) 3Shape Dental System, Dental Concept Méditerranée
- 70) George T. Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique : CFAO ou techniques conventionnelles, Thèse d'exercice, Nancy, 2017
- 71) Cordelette M, Jordan-Combarieu F. De la reconstruction unitaire des débuts à la réhabilitation globale fonctionnelle et esthétique aujourd'hui... L'Information Dentaire n° 20, 21 mai 2014, 1-8
- 72) GRACCO A, STELLINI E, PARENTI SI, BONETTI GA. Individualized orthodontic treatment: The Insignia system. Orthodontics (Chic). 2013
- 73) Ghafari JG. Centennial inventory: the changing face of orthodontics. Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod. Nov 2015;148(5):732[9.
- 74) Logiciel insignia
- 75) HAMEURY E. De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du concept d'attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative. [Thèse de doctorat]. Aix Marseille Université. Oct 2019
- 76) SILVERMAN E, COHEN M, GIANELLY A. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. American Journal of Orthodontics. Sept
- 77) LI Y, MEI L, WEI J, YAN X, ZHANG X, ZHENG W, ET AL. Effectiveness, efficiency and adverse effects of using direct or indirect bonding technique in orthodontic patients: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health.
- 78) NICHOLS DA, GARDNER G, CARBALLEYRA AD. Reproducibility of bracket positioning in the indirect bonding technique. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. nov 2013;
- 79) BROWN MW, KOROLUK L, KO C-C, ZHANG K, CHEN M, NGUYEN T. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. déc 2015
- 80) ZACHRISSON BU, BROBAKKEN BO. Clinical comparison of direct versus indirect bonding with different bracket types and adhesives. Am J Orthod. juill 1978;74(1):62-78. 4
- 81) PICHON P, CAVARE A. Perspectives d'application du flux numérique au collage indirect. Makaremi M, Petitpas L, éditeurs. Rev Orthop Dento Faciale
- 82) Julie Righezza. Apport du flux numérique en technique vestibulaire orthodontique. Chirurgie. 2021. ffdumas.03638253
- 83) DUARTE MEA, GRIBEL BF, SPITZ A, ARTESE F, MIGUEL JAM. Reproducibility of digital indirect bonding technique using three-dimensional (3D) models and 3D-printed transfer trays. Angle Orthod. janv 2020;90(1):92-9.
- 84) POTTIER T, BRIENT A, TURPIN YL, CHAUVEL B, MEURIC V, SOREL O, ET AL. Accuracy evaluation of bracket repositioning by indirect bonding : hard acrylic CAD/CAM versus soft one-layer silicone trays, an in vitro study. Clin Oral Investig.
- 85) NIU Y, ZENG Y, ZHANG Z, XU W, XIAO L. Comparison of the transfer accuracy of two digital indirect bonding trays for labial bracket bonding. Angle Orthod. janv 2021;91(1):67-73.
- 86) ZHANG Y, YANG C, LI Y, XIA D, SHI T, LI C. Comparison of three-dimensional printing guides and double-layer guide plates in accurate bracket placement. BMC Oral Health. avr 2020;20(1):127
- 87) Kesling HD . The philosophy of the tooth positioning appliance , Am ; J. Orthod.1945 ; 31 :297-304.

- 88) Remensnyder O. dental Massage Device, U.S. Patent 1,691,785, Nov. 13, 1928.
- 89) Remensnyder O. Orthodontic appliance U.S. Patent US2479780 Aug 1949.
- 90) Nahoma HI . the vacuum formed dental contour appliance. New York State Dent J ; 1964 ;9 ;385-90
- 91) Ponitz RJ. Invisible retainers. AM J Orthod 1971 ; 59 :266-272
- 92) McNamara JA JR ,Kramer KL, Junker JP . invisible retainers. J Clin Orthod 1985 ;19(8). PMID :3862671
- 93) Sheridan JJ . Air-rotor stripping. J Clin Orthod .1985 ;19(1) :43-59. PMID :38822756.
- 94) Sheridan JJ . Air-rotor stripping update. J Clin Orthod .1987 ;21(11) :781-788. PMID 3482080.
- 95) Dr Oussama HALOUANI Médecin dentiste Sfax Ville Sfax. (s. d)
- 96) Beers AC Choi W , Pavlovskaja E. Computer-assisted treatment planning and analysis. Orthod Craniofac res. 2003 ;6(1) :117-25.
- 97) Bestsmile Info Center | Thèmes de médecine dentaire & Wiki. (s. d.).
- 98) Madar Dahan, Pose de gouttières Invisalign pour avoir un beau sourire chez votre orthodontiste à Marseille. (s. d.).
- 99) Wong BH . Invisalign A to Z. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2002 May ;121(5) :540-1.
- 100) Baillargeon Isabelle Dre ; Orthodontiste, la technique invisalign
- 101) Baron P , Invisible and almost invisible orthodontic appliances. Orthod Fr. 2014 mar ;85(1) :59-91.
- 102) Vardimon, Robbins D, Brosh T. In-vivo von Mises strains during Invisalign treatment. Am J Orthod dentofacial orthop. 2010 oct ; 138(4) :399-409.
- 103) Kumcio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and Traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of orthodontics objective grading system. Angle Orthod. 2007 sep ; 77(5) :864-9.
- 104) Djeu G, Shelton C, Maganzini A. outcome assessment of invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of orthodontics objective grading system. Am J orthod Dentofacial orthop. 2005 sep ; 128(3) :292-8.
- 105) Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA , Bourauel C. Forces and moments generated by removable Thermoplastic aligners : incisor torque, premolar derotation , and molar distalization. Am J orthod dentofacial orthop 2014. Jun, 145(6) :728-36.
- 106) Bucco –invisalign—les appareils dentaires invisibles
- 107) Yelouassi, E. (2022, 3 mars). Quels sont les dangers à utiliser les aligneurs dentaires invisibles ? - Information hospitalière : Lexique et actualité du milieu médical. Information hospitalière : Lexique et actualité du milieu médical.
- 108) Dahan S. Les gouttières chirurgicales : intérêts et techniques de réalisation. L'Orthodontie Bioprogressive. 2011 juin :41-50.
- 109) Bachelet J.T, Clivet J.Y, Chauvet-picard J, Bouletreau P. Surgical splints, place in orthognathic surgery and perspectives. Rev Orthop Dento Faciale. 2016 ;50 :71-76.
- 110) Makaremi MASROUR | Research Associate | Orthodontist Phd Cognitive neuroscience | University of Bordeaux, Bordeaux | orthodontics | Research profile, s. d.
- 111) L'orthodontie linguale - Orthodontie Saint-Cyr-L'École. Cabinet d'Orthodontie, Dr. Catherine Le Goff, Saint-Cyr-L'École
- 112) L'évolution de l'orthodontie linguale de 1975 à nos jours, 2011-université de « Nantes » de formation et de recherche d'odontologie.
- 113) Société française d'orthopédie dento faciale. (2018, 29 octobre). orthodontie linguale – SFODF
- 114) Pauls AH. Therapeutic accuracy of individualized brackets in lingual orthodontics J orthofac orthop 2010 sep ; 71(5) :348-61.
- 115) Barthelemi S, Hyppolite MP. Palot C. wiechmann D. components of overbite correction in lingual orthodontics : molar extrusion or incisor intrusion ? Int Orthod. 2014 dec ;12(4) :395-412.
- 116) Les brackets Incognito™ – Dr. Mohamed Yassine BICHRA. (s. d.).

- 117) Top Service für lingualtechnik GmbH ; une société du groupe 3m ; 2009 Top- Service ; MV-01-040001FR.1009.
- 118) 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) :593-9.
- 119) Pierre Canal, André Salvadori, Elsevier Masson SAS ; Role de l'orthodontie dans la réhabilitation générale de l'adulte ; Orthodontie de l'adulte \_ novembre 2008
- 120) Brunoy, C. D. D. L. H. (s. d.). L'appareil lingual - Cabinet d'orthodontie Dr. Laïla Hitmi, Brunoy Essonne
- 121) Simon JS, CAletti C ; Wiechmann D. Système d'orthodontie linguale individualisé. Encycl Med Chir (Elsevier,Paris) odontologie-Orthopédie dentofaciale 2007 ;23-490-A-09.
- 122) Orthodontiste, S. C. (2018, 4 février). IncognitoTM/ brochures invisibles/orthodontiste à Québec/ Dr Chamberland. Dr Sylvain Chamberland Orthodontiste
- 123) Dentaltix - Boutique Dentaire Online. Les principaux matériaux pour prise d'empreinte : Tout ce que vous devez savoir sur les alginates et silicones. (s. d.).
- 124) Mujagic M, Fauquet C, Galletti C, Palot C, Wiechmann D, Mah J . digital design and manufacturing of the lingual care bracket system. J Clin orthod 2005 ;39(6) :375-382
- 125) Fauquet-Roure C, Simon JS, Wiechmann D, Garcia R. vers une orthodontie lingual individuelle. Rev Orthop dento faciale 2005 ;39 :237-255.
- 126) Lorelle JP, Flageul F. choix raisonné d'un fil orthodontique , in Orthopédie dento facial , une approche bioprogressive. Quintessence internationale, Paris, 1999,p. 177-188.
- 127) Wiechmann D . Lingual orthodontics : archive fabrication. J Orfac Orthop 1999 ;60 ;416\_426.
- 128) Nicolas S , Joseph G, orthodontie lingual : le choix du système.
- 129) Stamm t, Wiechmann D, Heinecken A, Ehmer U . relation between second and third order problems in lingual orthodontic treatment .J Ling Orthod 2000 ;3 :5-11.
- 130) Wiechmann D,Wiechmann L. Les finitions occlusales assistées par ordinateur . Orthod FR 2003 ;74 :15-28.
- 131) Hiro T. Preparation for new generation of lingual orthodontics : six keys to success with lingual straight wire appliance. J Lingual Orthod 2002 ;29-47.
- 132) Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, styner M. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes. Am J Orthod DentoFacial orthop. 2010.137(4) :s120-9.
- 133) Tucker S,Cevidanes LH ,,Styner M, Kim H, Chapuis J, Reyes M ,proffit W, Turvey T, Jaskolka M. There-dimensional surgical simulation. Am J Orthod DentoFacial orthop .2010 ;138(3) :361-71.
- 134) Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Bianchi A, Marchetti C. simulation –guided navigation : a new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. J Craniofac Surg. 2010 Nov ;21(6) :1698-705.
- 135) Sadiq Z , Collyer J, seddon K, Walsh S. Orthodontic treatment of asymmetry : two cases of « waferless' ' stereotactic maxillary positioning . br J Oral Maxillofac Surg .2012 Mar ;50(2) : 27-9.
- 136) Triaca A, Minoretti R, Saulacic N. Mandibula wing osteotomy for correction of the mandibular plane: A case report. Br J Oral Maxillofac Surg. 2010 April;48(3):182-4.
- 137) Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S , Scott MA, Urta MM. Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery : Traditional Methods versus 3D Surgical Planning. Plast Reconstr Surg GLOB Open.2015 Mar ;3(2) :e307.
- 138) Journal britannique de chirurgie buccale et maxillo-faciale ;Edité par Elsevier 0266-4356
- 139) Yannick, T. (2022, 7 juillet). Utilisation d'une intelligence artificielle automatisée pour prédire la nécessité d'extractions orthodontiques - L& # 039 ; Information Dentaire. L'Information Dentaire.
- 140) Seah, J. (2023). Utiliser ChatGPT dans votre cabinet dentaire. *Dental Resource Asia*.

- 141) Costi, A. (2019). L'intelligence artificielle au service de l'orthodontie : l'exemple de Dental Monitoring. Revue d'orthopédie dento-faciale.
- 142) Réalité Augmentée en dentisterie, perspectives actuelles. (s. d.-b).
- 143) Virtual reality in Orthodontics. (s. d.-b).
- 144) Réalité Augmentée en dentisterie, perspectives actuelles. (s. d.-b). DENTISFUTURIS.
- 145) Dua, V., Sikri, A., Kaur, A., & Sachdeva, M. (2021b). Augmented reality in orthodontics : The way ahead. International journal of oral health dentistry, 7(3), 195-198.
- 146) Staes, K. (s. d.). Les avantages de l'imagerie numérique pour votre cabinet dentaire.
- 147) Why We Should Go Digital – The Future of Dentistry. (s. d.).
- 148) Benefits of Digital Dentistry - Museum Dental | Toronto Dentist. (s. d.). Museum Dental | Toronto Dentist.
- 149) Ag, I. V. (s. d.-b). Dentisterie numérique et technologie dentaire : le monde dentaire en transition.
- 150) Centre dentaire des chênes. (2022). Numérisation des dents : les avantages. Centre Dentaire Deschênes.
- 151) Digital Impressions; A Wasted Investment ? DentLearn.
- 152) Disadvantages of Intraoral Digital Imaging - Digital Imaging in Dentistry : Intraoral, Extraoral, and 3D Technology - Dentalcare.
- 153) Sommers TM, Mauriello SM, Ludlow JB, et al. Pre-clinical performance comparing film and CCD-based systems. J Dent Hyg. 2002;76:26-33.
- 154) Sturgeon, A. C. B. M. D. L. D. S. L. L. D. M. J. M., MD. (s. d.). Focus On : A Primer on Intraoral Direct Digital Radiography Part I-Advantages and Disadvantages. Copyright ©2023 AEGIS Communications, All Rights Reserved.
- 155) Mailiz. (n.d.). <https://mailiz.formation.mssante.fr/>
- 156) <https://appareil-dentaire.ooreka.fr>
- 157) <https://orthodontiste.fr>
- 158) [www.bluedis.fr](http://www.bluedis.fr)
- 159) [www.idweblogs.com](http://www.idweblogs.com) / par Dr. Elie CALLABE
- 160) [www.Phanmeca.com](http://www.Phanmeca.com)
- 161) [www.cephio.com](http://www.cephio.com)
- 162) [Dr.bruno-casari-chirurgien-dentiste.fr](http://Dr.bruno-casari-chirurgien-dentiste.fr) / par Dr. Casari
- 163) <https://fmedecine.univ-setif.dz>
- 164) <https://www.tootyvr.com>
- 165) <https://www.dentistrytoday.com/>

## **Résumé :**

L'arrivée du numérique a bouleversé la pratique de l'orthodontie en faisant évoluer ses secteurs d'activité. Ce travail retrace succinctement ces évolutions au travers du parcours du patient. Le numérique permet aujourd'hui une fluidification du flux de soin depuis la gestion des données du patient jusqu'à un diagnostic plus précis débouchant sur des traitements individualisés dans leurs choix et dans leurs méthodes. Il a permis l'avènement des nouvelles méthodes de traitement comme les gouttières d'alignement.

Toutefois, la numérisation des cabinets peut susciter des doutes face au coût qu'elle engendre. Depuis, cette numérisation a entraînée une dépendance des cabinets face à l'outil informatique, les rendant vulnérables face aux pannes ou aux cyberattaques.

---

## **Abstract :**

The advent of digital technology has changed the practice of orthodontics by changing each business line. This work briefly retraces these evolutions through the patient's journey. Today, digital technology makes it possible to streamline the flow of care from the management of patient data to a more accurate diagnosis leading to individualized treatments in their choices and methods. It has allowed the advent of new treatment methods such as alignment gutters.

However, the digitization of cabinets can raise doubts about the cost it represents. Since then, this digitization has created a dependence on the computer tool, making it vulnerable to failures or cyber attacks.



