

## Le flux numérique en orthodontie

Anaïs Cavaré

### PLAN DU CHAPITRE

Étape d'acquisition	94
Étape de planification	95
Étapes de conception et de fabrication	100
Conclusion	106

Au cours de la dernière décennie, le formidable développement des outils numériques tridimensionnels a transformé la pratique orthodontique. Le cabinet d'orthodontie s'organise désormais autour du flux numérique global que l'on divise classiquement en quatre grandes étapes (figure 3.1) que nous allons développer : acquisition, planification, conception et fabrication [1].

Il serait cependant plus juste de présenter ce flux comme un cycle (figure 3.2) pouvant se prolonger par la phase clinique de mise en place de l'appareillage orthodontique issu des étapes précédentes et dont les effets peuvent être analysés par une nouvelle acquisition

numérique dans une phase de rétrocontrôle très utile au praticien. Ce cycle peut également être raccourci en s'affranchissant de l'outil numérique pour certaines étapes ou en déléguant une ou plusieurs étapes à un laboratoire extérieur.

## Étape d'acquisition

Par l'emploi de l'outil numérique, les données cliniques qu'elles soient dentaires, occlusales ou squelettiques sont enregistrées et transformées en fichiers informatiques avec

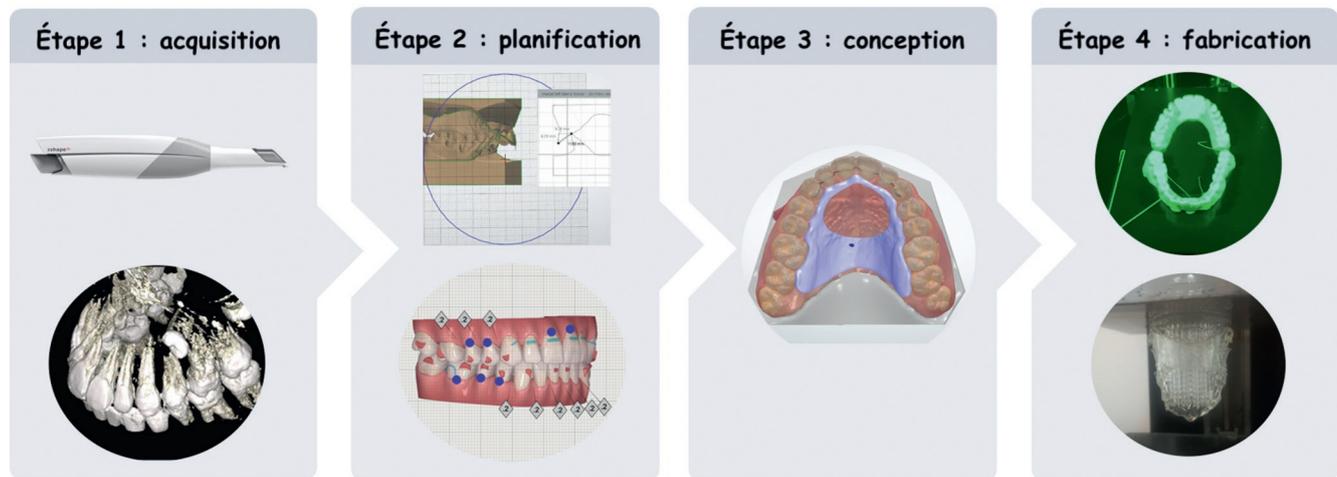


Figure 3.1 Les quatre étapes du flux numérique global dans un cabinet d'orthodontie.

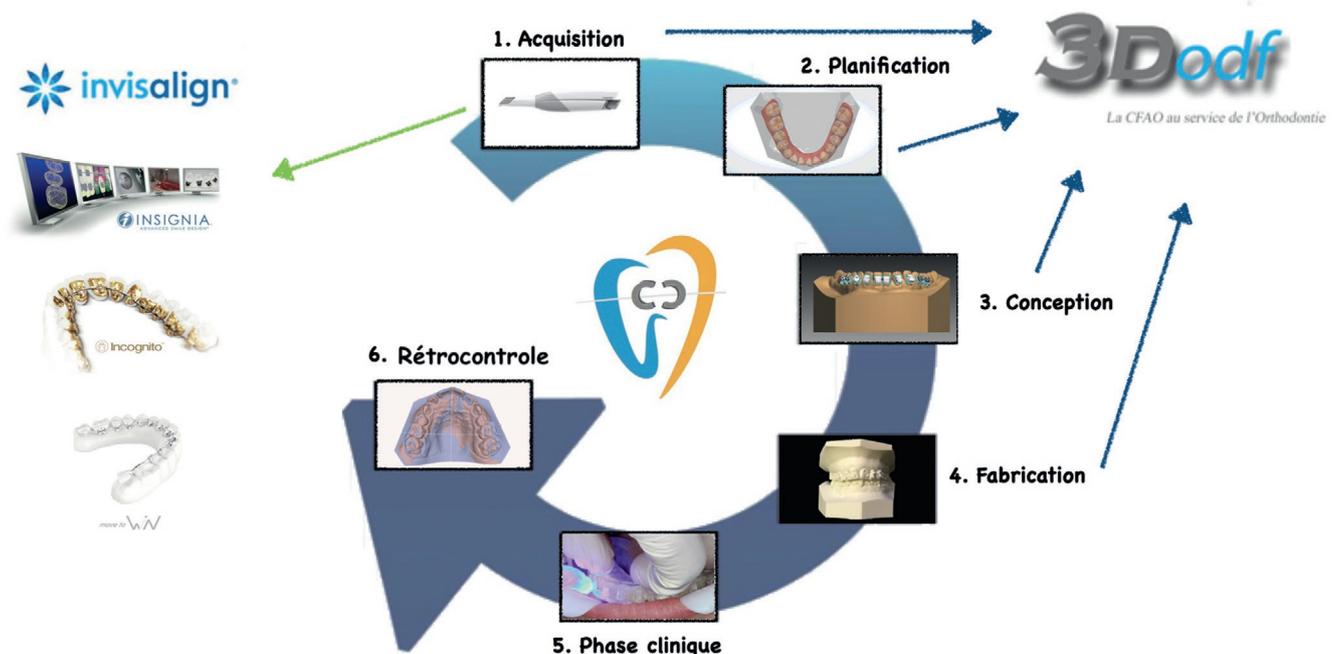


Figure 3.2 Cycle de l'utilisation des technologies numériques dans un cabinet d'orthodontie.

une extension propre (JPEG, DICOM, STL<sup>12</sup>), exploitables par de nombreux logiciels.

L'enregistrement des arcades dentaires et de l'occlusion est réalisé directement en bouche par une caméra optique intra-orale. Le principe de base est l'envoi par la caméra d'un rayonnement lumineux incident réfléchi par la surface scannée puis enregistré par le capteur de la caméra. Ce signal lumineux est transformé en signal électrique par le logiciel interne de la caméra sous forme de coordonnées tridimensionnelles de chaque point touché par le rayon lumineux. La multiplication des prises de vue permet d'obtenir un nuage de points, le logiciel va ensuite supprimer les redondances et homogénéiser la densité des points afin d'obtenir un fichier STL [2].

Parallèlement, la radiographie tridimensionnelle des structures osseuses et dentaires peut être obtenue par *cone beam computed tomography* (CBCT). Les données sont stockées sous forme de fichiers DICOM, mais il est possible de les transformer en fichiers STL et de croiser les informations obtenues en superposant les structures dentaires issues du scanner intra-oral et les structures osseuses issues du CBCT.

## Étape de planification

Outre le confort du patient et du praticien lors de la prise d'empreinte optique et les facilités de stockage des données du patient, la numérisation de la phase d'acquisition présente l'avantage d'améliorer le diagnostic par l'analyse simplifiée des arcades dentaires. En effet, que ce soit par le biais de logiciels externes « ouverts » ou dans la suite logicielle intégrée au système de prise d'empreinte (OrthoAnalyzer<sup>®</sup> de 3Shape; OrthoCAD<sup>®</sup> d'Itero), de nombreuses mesures sont possibles :

- largeur des dents et longueur de l'arcade dentaire permettant de calculer la dysharmonie dentoalvéolaire et la dysharmonie dentodentaire grâce à l'indice de Bolton;
- mesures des largeurs intercanines, intermolaires et de la discordance transversale entre les arcades;
- mesures du surplomb et du recouvrement, etc.

Au-delà de ces mesures simples, au cœur du diagnostic et de la planification des traitements, se trouve le *set-up* digital ([cas clinique 3.1](#) : [figures 3.3 à 3.6](#)).

Apparus dès les années 1950 dans leur version manuelle sur modèles en plâtre, les *set-up* permettent selon la formule de Pitts de « commencer un traitement avec la fin en tête pour terminer en beauté » [3].

La version digitalisée du *set-up* permet de le réaliser plus rapidement, avec des mesures plus précises et complètes des déplacements dentaires dans les trois dimensions de l'espace, et de superposer *set-up* et situation initiale des arcades dentaires afin de mieux visualiser les déplacements planifiés. Grâce à la simplicité de sa réalisation, l'orthodontiste peut tester plusieurs hypothèses thérapeutiques, notamment dans les cas limites d'extractions, de chirurgie orthognathique ou d'agénésies dentaires. La fusion des fichiers STL et DICOM issus du CBCT permet également de réaliser un *set-up* digital incluant les mouvements des racines dentaires tout en visionnant l'os alvéolaire dans sa situation initiale [4].

L'étude de 2016 de Barreto sur 20 patients montre que la version digitale du *set-up* réalisé avec le logiciel OrthoAnalyzer<sup>®</sup> de 3Shape est au moins aussi précise et efficace que la version manuelle, en tout cas dans les modifications étudiées de longueur d'arcade et de largeurs intercanines et intermolaires [5].

Des difficultés peuvent cependant apparaître au départ de l'utilisation du *set-up* digital car l'orthodontiste, habitué aux modèles en plâtre, perd toute sensation haptique dans le monde numérique. Différents travaux en neurosciences ont montré que le recrutement neuronal et la plasticité cérébrale étaient différents entre la manipulation virtuelle d'un objet à travers un écran d'ordinateur et sa perception et manipulation concrètes. Un schéma d'apprentissage différent doit être mis en place afin de progresser dans la perception virtuelle des objets [6].

Ainsi digitalisé, le *set-up* peut être facilement dupliqué et échangé, ce qui en fait un puissant outil de communication. Cette communication se veut pédagogique avec le patient qui visionne les choix thérapeutiques s'offrant à lui, et elle peut appuyer la notion de consentement éclairé. Mais le *set-up* est particulièrement intéressant dans la communication avec nos confrères chirurgiens-dentistes, implantologues ou chirurgiens maxillofaciaux et améliore la prise en charge interdisciplinaire (voir [cas clinique 3.1](#)).

Dans le cas de la collaboration orthochirurgicale, le *set-up* de l'occlusion dentaire peut être réalisé par l'orthodontiste dès la phase de diagnostic initial ou lors de la réévaluation préchirurgicale après préparation orthodontique des arcades dentaires. La nouvelle position occlusale souhaitée est envoyée numériquement au chirurgien maxillofacial qui la valide et l'intègre à son *set-up* digital du repositionnement envisagé des segments osseux lors de l'ostéotomie (issu du CBCT ou du scanner facial). Le chirurgien pourra alors concevoir numériquement la gouttière chirurgicale pour transférer le jour de l'intervention son choix, réalisé conjointement avec l'orthodontiste, de la nouvelle position occlusale ([cas clinique 3.2](#) : [figures 3.7 à 3.13](#)) [7].

<sup>12</sup> JPEG : Joint Photographic Experts Group, DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine, STL : STereo-Lithography.

### Cas clinique 3.1

## Réalisation et intérêt du *set-up* numérique dans un cas d'anomalie de forme dans la communication interdisciplinaire

Cas traité par le Dr Cavaré

Pour cette patiente qui présente des anomalies de forme dentaire en particulier des incisives latérales maxillaires et mandibulaires induisant une dysharmonie dentodentaire (figures 3.3 et 3.4), deux propositions thérapeutiques sont adressées à son dentiste traitant :

bulaires induisant une dysharmonie dentodentaire (figures 3.3 et 3.4), deux propositions thérapeutiques sont adressées à son dentiste traitant :



Figure 3.3

Photographies endobuccales de la patiente avant traitement.

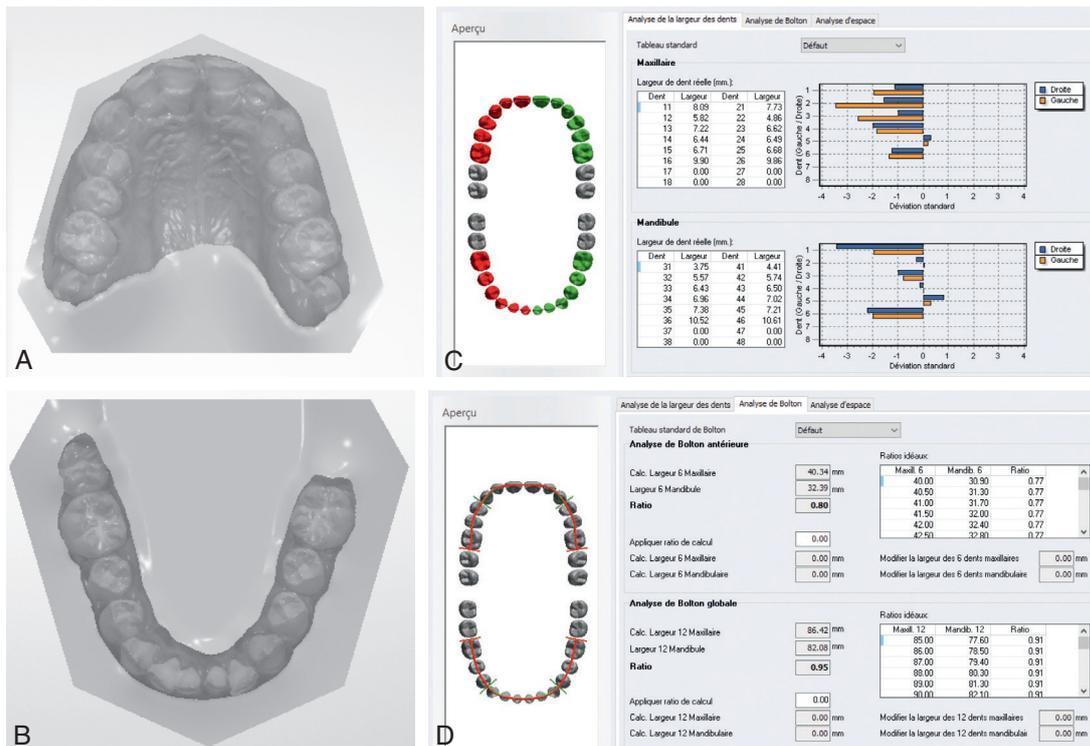
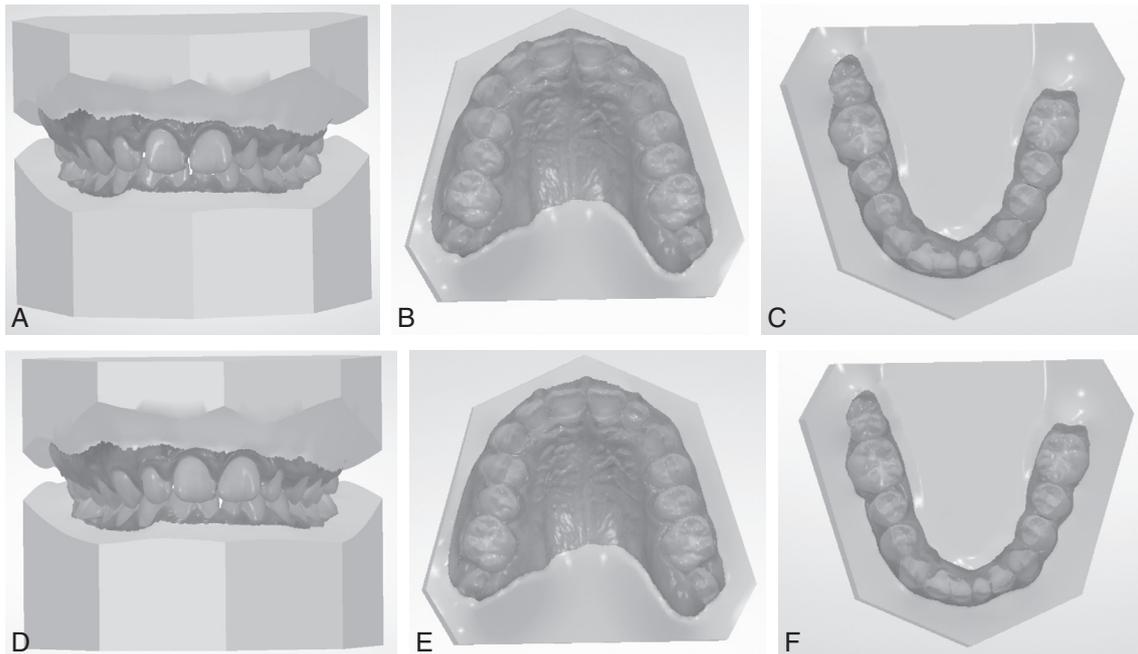


Figure 3.4

Analyse des dimensions dentaires.

A. Arcade maxillaire. B. Arcade mandibulaire. C. Tableaux des dimensions dentaires. D. Indice de Bolton.

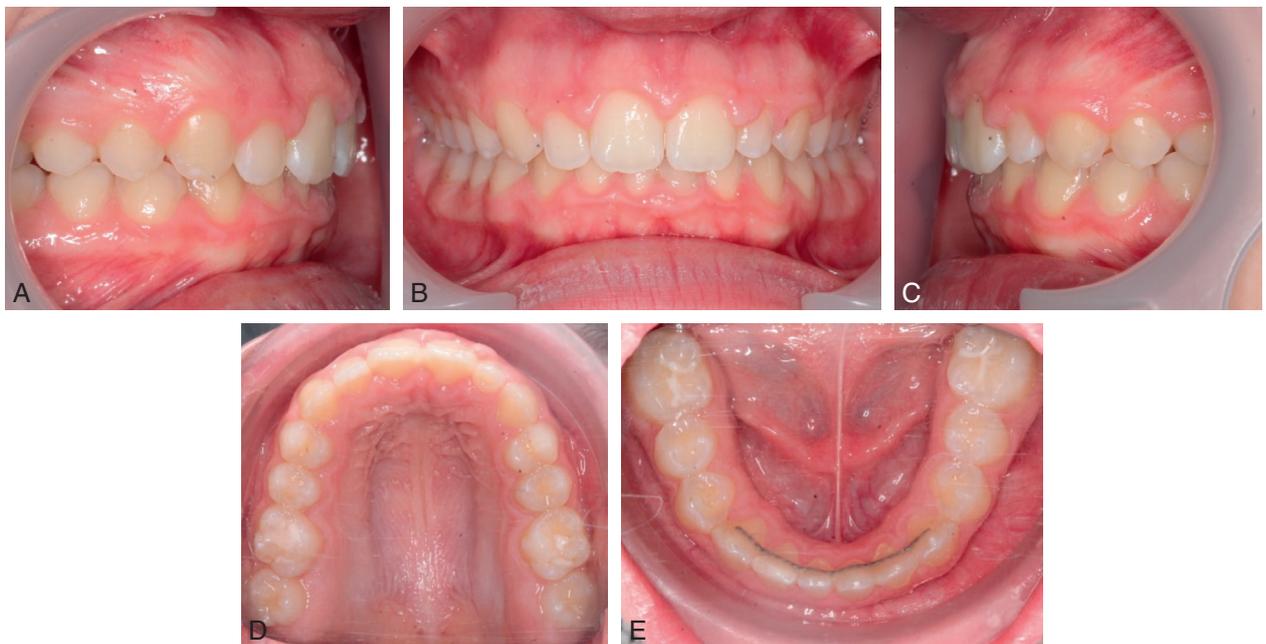
- la première permet l'obtention d'une classe I dentaire, d'un surplomb et d'un recouvrement normaux, mais nécessite en fin de traitement de modifier la forme de 12, 22 et 31 par coronoplastie additive (figure 3.5A à C);
- dans la seconde proposition, seule 31 doit être retouchée en fin de traitement, tous les autres espaces étant fermés en acceptant un surplomb diminué et une légère classe II dentaire (figure 3.5D à F). C'est cette seconde proposition qui est retenue (figure 3.6).



**Figure 3.5**

**Set-up numériques réalisés.**

A-C. Solution 1 permettant l'obtention d'une occlusion de classe I avec guide antérieur normal mais nécessité de coronoplasties additives sur 12, 22 et 31. D-F. Solution 2 avec fermeture des espaces maxillaires et coronoplastie additive sur 31.



**Figure 3.6**

Photographies endobuccales de la patiente en fin de traitement réalisé par fermeture des espaces maxillaires et coronoplastie de 31.

### Cas clinique 3.2

## Set-up orthochirurgical pour une patiente devant bénéficier d'une avancée mandibulaire et d'une génioplastie de type *chin wing*

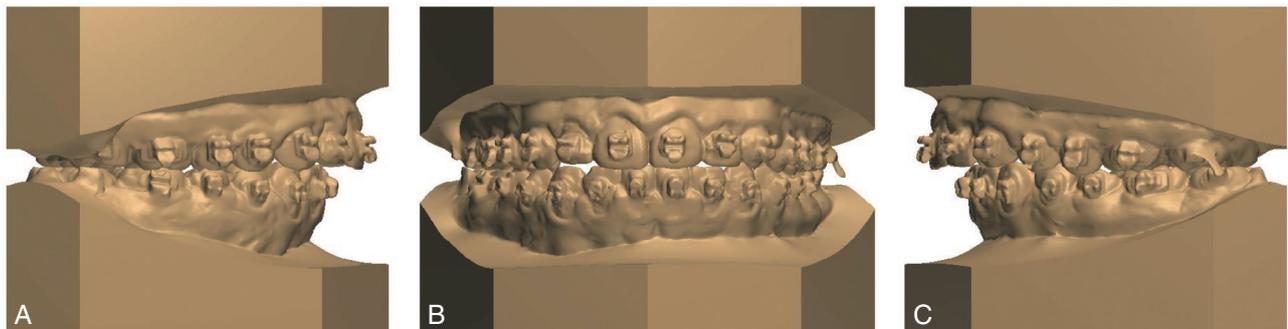
Cas traité par le Dr Cavaré et le Dr Cappai pour l'orthodontie et le Dr Laurentjoye pour la chirurgie orthognathique

En fin de préparation orthodontique, de nouveaux documents photographiques (figure 3.7A à C), radiographiques et des empreintes numériques (figure 3.8A à C) sont réalisés par l'orthodontiste afin de transmettre au chirurgien maxillofacial un set-up de la position occlusale souhaitée (figure 3.9A à C). Le chirurgien peut ainsi intégrer l'empreinte des arcades à la reconstruction tridimensionnelle issue du CBCT et du scanner

facial réalisés et effectuer le set-up des mouvements des bases osseuses en se référant à l'occlusion finale souhaitée par l'orthodontiste (figure 3.10). Une gouttière de transfert est conçue numériquement à partir du set-up orthochirurgical présenté. Les figures 3.11 et 3.12 montrent le résultat immédiat en post-chirurgie et la figure 3.13 le résultat occlusal lors du débaguage 6 mois plus tard.



**Figure 3.7**  
Photographies endobuccales en fin de préparation orthodontique préchirurgicale.



**Figure 3.8**  
Modèles numériques issus de l'empreinte optique.



**Figure 3.9**  
Occlusion post-chirurgicale souhaitée par l'orthodontiste simulée sur les modèles numériques.

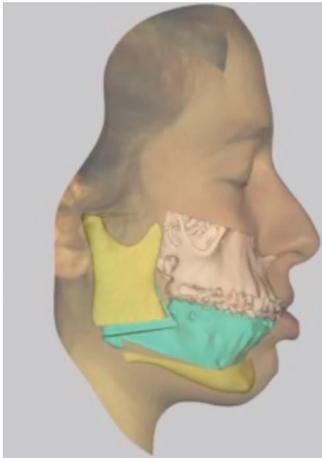


Figure 3.10

Set-up chirurgical simulant les déplacements squelettiques prévus.

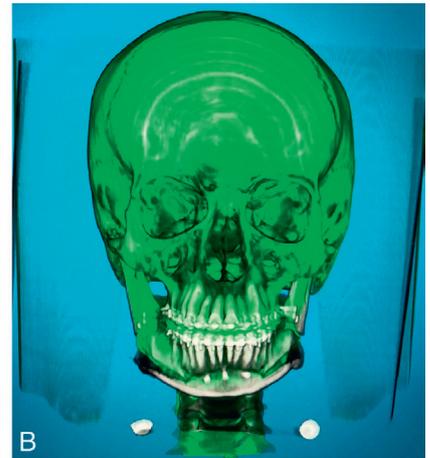
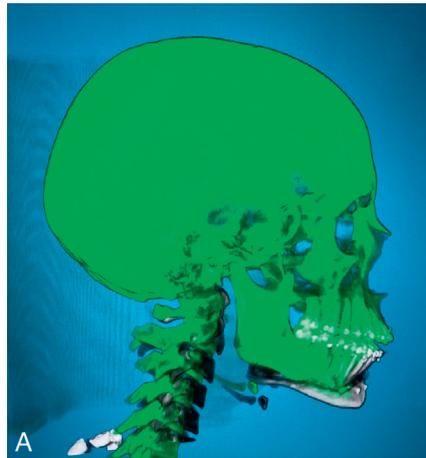


Figure 3.11

Reconstruction tridimensionnelle du squelette facial après chirurgie.



Figure 3.12

Photographies endobuccales post-chirurgicales.



Figure 3.13

Photographies endobuccales lors du débaguage.

En effet, l'immense avantage de ce *set-up* digital est d'être au centre des nouvelles thérapeutiques orthodontiques en dépassant le simple outil diagnostique. C'est sur ce *set-up* que vont pouvoir être réalisés des dispositifs orthodontiques sur mesure et donc individualisés à chaque patient. C'est aussi l'écueil de cette approche car pour de nombreux systèmes d'appareillages orthodontiques individualisés issus de l'industrie (Invisalign®, Incognito®, Insignia®, etc.), le *set-up* est réalisé par l'industriel. Certes, l'orthodontiste peut apporter de nombreuses modifications, mais l'inquiétude légitime de nombreux professionnels est de ne plus être totalement maîtres de leur thérapeutique et de dévaloriser leur sens clinique et leur expertise en confiant cette partie essentielle de leur traitement à une multinationale. Les neurosciences montrent qu'il existe un « conflit de représentation » entre la construction mentale que le praticien se fait du projet thérapeutique et le *set-up* numérique, fruit de l'intelligence artificielle. Même si le projet thérapeutique final est le même, si le praticien n'a pas fait l'effort de construire une représentation mentale de ce schéma avant de voir le *set-up* digital proposé, il lui sera difficile de l'élaborer *a posteriori* et il devient effectivement le vassal du plan de traitement issu de l'intelligence artificielle [6].

Par ailleurs, les déplacements dentaires ont des limites biologiques que les ordinateurs ne connaissent pas. Une fin de traitement peut sembler parfaite sur le logiciel de planification mais inatteignable en réalité chez le patient car entraînant des mouvements dentaires trop importants (expansion, distalisation), intégrant des notions difficilement quantifiables et inconnues de l'algorithme (potentiel de croissance pour réaliser un saut d'articulé) ou créant des effets iatrogènes (récessions gingivales dans les versions excessives). Le praticien reste responsable de son projet thérapeutique et ne doit pas déconnecter son savoir clinique et théorique des propositions faites par l'intelligence artificielle.

## Étapes de conception et de fabrication

Les étapes de conception et fabrication du dispositif thérapeutique peuvent être réalisées par le praticien au sein même du cabinet d'orthodontie, ce que l'on nomme la conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) directe. Grâce au développement de logiciels accessibles comme Appliance Designer® de 3Shape, le praticien peut concevoir par ordinateur de nombreux dispositifs – tels des gouttières d'alignement dentaire en divisant le *set-up*

digital en plusieurs étapes intermédiaires –, mais aussi ne pas s'appuyer sur un *set-up* et dessiner directement sur le modèle numérique initial des appareillages amovibles (plaques, gouttières, etc.) ou mettre en place le collage indirect assisté numériquement pour la pose de brackets non individualisés (cas clinique 3.3 : figures 3.14 à 3.22) [8].

La phase de fabrication assistée par ordinateur (FAO) est l'interface entre la conception assistée par ordinateur (CAO) et la machine de mise en forme du matériau. Si les procédés d'usinage par soustraction sont présents dans les cabinets des chirurgiens-dentistes depuis une dizaine d'années (*ceramic reconstruction* ou CEREC), les procédés par addition que l'on nomme impression 3D sont d'apparition plus récente et intéressent davantage l'orthodontiste.

L'impression 3D est un procédé de fabrication par superposition de couches de matière sur un support, le fonctionnement diffère selon les techniques : dépôt de matière fondue (FDM, FFF<sup>13</sup>), liage de poudres (SLS, SLM, DMLS<sup>14</sup>), photopolymérisation (SLA, DLP<sup>15</sup>, PolyJet®). Certaines de ces technologies ne sont plus excessivement onéreuses et sont simples d'utilisation comme le dépôt de matière fondue, ce qui a permis de les intégrer au sein même du cabinet. L'impression directe de matériau allant en bouche demande l'utilisation d'une résine biocompatible d'apparition récente, d'une imprimante par photopolymérisation et d'un post-traitement.

Un des maillons de la chaîne peut être manquant et une partie peut alors être déléguée au laboratoire que ce soit la conception ou la fabrication, c'est ce que l'on nomme la CFAO indirecte (cas clinique 3.4 : figures 3.23 à 3.29).

Cette CFAO indirecte recouvre à la fois la conception/fabrication d'appareillage orthodontique sur les modèles initiaux donc sans étape de planification, mais également la modélisation du projet thérapeutique par le biais du *set-up* virtuel. Comme évoqué précédemment, l'algorithme détermine l'objectif thérapeutique et le chemin des déplacements dentaires pour y parvenir, et après validation par le praticien, l'industriel concerné réalise un dispositif orthodontique sur mesure. Une série de modèles imprimés en 3D permet de fabriquer une série d'aligneurs qui vont déplacer progressivement les dents dans les techniques Invisalign®, OrthoCaps®, etc. Mais le procédé peut également être utilisé pour les traitements par appareillage fixe que ce soit avec des brackets vestibulaires (Insignia®) ou des brackets linguaux (Incognito®, Win®) qui sont alors entièrement

<sup>13</sup> FDM : *fuse deposition modeling*, FFF : *fused filament fabrication*.

<sup>14</sup> SLS : *selective laser sintering*, SLM : *selective laser melting*, DMLS : *direct metal laser sintering*.

<sup>15</sup> SLA : *stereolithography apparatus*, DLP : *digital light processing*.