

Université de Nantes
Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie

ANNEE 2009

THESE N° 37

Odontologie assistée par informatique :
apport en prothèse et en orthodontie.

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée
et soutenue publiquement par

Madame NACIRI-EL MESSAOUDI NAJOUA

née le 29 juin 1982

présentée conjointement avec

Mademoiselle GODEFROI ANAÏS

née le 15 février 1983

le 1^{er} octobre 2009 devant le jury ci-dessous :

Monsieur le Professeur Alain JEAN, Président
Monsieur le Docteur Yves AMOURIQ, directeur de thèse
Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET, co-directeur
Monsieur le Docteur Eric CHABERLIN, assesseur

Par délibération en date du 6 décembre 1972, le conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.	8
1. INFORMATIQUE : NOTIONS GENERALES.	9
1. 1. Définition.	9
1. 2. Historique.	9
1. 2.1. Les précurseurs.	9
1. 2. 2. La miniaturisation.	11
1. 2. 3. Internet.	15
1. 2. 3. 1. Historique.	15
1. 2. 3. 2. Qui gère l'Internet ?	15
1. 2. 3. 3. La navigation sur l'Internet.	16
1. 2. 3. 4. La sécurité sur l'Internet.	16
1. 3. Description.	16
1. 3. 1. Standards.	16
1. 3. 1. 1. PC.	16
1. 3. 1. 2. Macintosh.	16
1. 3. 2. Micro-ordinateurs.	17
1. 3. 2. 1. Types.	17
1. 3. 2. 2. Unité centrale.	17
1. 3. 3. Périphériques.	18
1. 3. 3. 1. Ecran.	18
1. 3. 3. 2. Clavier et souris.	18
1. 3. 3. 3. Imprimantes.	19
1. 3. 3. 4. Unités de stockage.	19
1. 3. 4. Programmes/logiciels.	19
1. 3. 4. 1. Système d'exploitation.	19
1. 3. 4. 2. Logiciels d'applications.	19
1. 3. 4. 3. Logiciels d'applications spécifiques en odontologie.	20
1. 4. Applications de l'informatique en odontologie.	20
1. 4. 1. Applications administratives.	20
1. 4. 1. 1. Dossier Patient.	20
1. 4. 1. 2. Télétransmissions.	21
1. 4. 1. 3. Prescriptions, devis et courriers.	22
1. 4. 1. 4. Rendez-vous.	23
1. 4. 2. Applications comptables.	23
1. 4. 3. Applications cliniques.	24
1. 4. 3. 1. Radiologie numérique.	24
1. 4. 3. 2. Photographie numérique.	29
1. 4. 3. 3. Imagerie vidéo.	31
1. 4. 3. 4. Chirurgie.	33
1. 4. 3. 4. 1 Le système <i>Nobel Guide</i> ®.	34
1. 4. 3. 4. 2. Le système <i>Cad-Implant</i> ®.	36
1. 4. 3. 5. Prothèse.	41
1. 4. 3. 6. Orthodontie.	41
1. 5. Contraintes et désagréments de l'informatisation du cabinet dentaire.	42
1. 5. 1. Ethique et législation.	42
1. 5. 1. 1. La C.N.I.L.	42

1. 5. 1. 2. Dossier médical informatisé (D.M.I.).	43
1. 5. 1. 3. Création d'un site web.	45
1. 5. 2. Sécurité.	47
1. 5. 2. 1. Sécurité des données (pérennité, virus, piratage).	47
1. 5. 2. 2. Vols et autres sinistres matériels.	48
1. 5. 2. 3. Asepsie.	49
1. 5. 3. Ergonomie.	52
1. 5. 3. 1. Poste de travail.	52
1. 5. 3. 2. Quels écrans ? Quels claviers ?	52
1. 5. 3. 3. Fils et pédales.	53
1. 5. 3. 4. Unités centrales.	54
1. 5. 3. 5. Lecteurs de cartes à puces.	54
1. 5. 3. 6. Imprimantes.	54
2. APPORT DE L'ASSISTANCE INFORMATIQUE EN PROTHESE.	55
2. 1. Introduction.	55
2. 2. Aide au diagnostic et au plan de traitement.	55
2. 2. 1. Aide à la formation.	55
2. 2. 1. 1. Formation du praticien <i>off-line</i> .	55
2. 2. 1. 2. Formation du praticien <i>on-line</i> (sites professionnels).	56
2. 2. 1. 3. Bibliographie.	56
2. 2. 2. Aide à la décision et au plan de traitement.	57
2. 2. 2. 1. Système expert d'aide au tracé de châssis (<i>Stelligraph®</i> de Jourda).	58
2. 2. 2. 1. 1. Présentation.	58
2. 2. 2. 1. 2. Concepts prothétiques proposés.	58
2. 2. 2. 1. 3. Utilisation.	59
2. 2. 2. 1. 4. Applications.	60
2. 2. 2. 2. Validation du plan de traitement.	61
2. 2. 3. Aide à la communication.	62
2. 2. 3. 1. Avec le patient.	63
2. 2. 3. 1. 1. Présentation assistée par ordinateur.	63
2. 2. 3. 1. 2. DVD de salle d'attente.	63
2. 2. 3. 1. 3. Prévisualisation thérapeutique.	64
2. 2. 3. 1. 4. Sites web des praticiens.	64
2. 2. 3. 2. Avec le prothésiste.	65
2. 2. 3. 2. 1. Les spectrophotomètres.	66
2. 2. 3. 2. 2. Les colorimètres.	67
2. 2. 3. 2. 3. Le concept SoproShade®.	67
2. 2. 3. 2. 4. L'appareil photo numérique.	69
2. 2. 4. Aide à l'identification des prothèses.	70
2. 3. Aide à l'enregistrement de la morphologie des arcades dentaires.	72
2. 3. 1. Les différentes méthodes de prise d'empreinte.	72
2. 3. 1. 1. Définition, but.	72
2. 3. 1. 2. L'empreinte conventionnelle.	72
2. 3. 1. 3. L'empreinte optique endo-buccale.	73
2. 3. 1. 4. L'empreinte mécanique par contact ponctuel (palpage).	74
2. 3. 1. 5. L'empreinte optique sur modèle.	75
2. 3. 2. Avantages et inconvénients par rapport à l'empreinte classique par contact surfacique.	75
2. 3. 2. 1. Avantages.	75
2. 3. 2. 2. Inconvénients.	76

2. 3. 3. Exemples de systèmes utilisables au fauteuil.	77
2. 3. 3. 1. Caméra de mesure 3D Cerec.	77
2. 3. 3. 1. 1. Description.	77
2. 3. 3. 1. 2. Utilisation.	77
2. 3. 3. 2. Système Evolution 4D (E4D).	79
2. 3. 3. 3. Lava Chairside Oral Scanner® (C. O. S.®).	81
2. 3. 4. Applications cliniques.	82
2. 4. Aide à la conception et à la fabrication de prothèses : la C. F. A. O.	83
2. 4. 1. Introduction.	83
2. 4. 1. 1. Définition-généralités.	83
2. 4. 1. 2. Historique.	84
2. 4. 1. 3. Intérêt de la C. F. A. O.	86
2. 4. 2. La C. F. A. O. : du laboratoire...	87
2. 4. 2. 1. Acquisition.	87
2. 4. 2. 1.1. Acquisition avec Cerec InLab.	88
2. 4. 2. 1. 2. Acquisition avec le Cercon® Eye.	88
2. 4. 2. 2. Conception prothétique (C.A.O.).	89
2. 4. 2. 2. 1. Conception prothétique avec Cerec InLab.	90
2. 4. 2. 2. 2. Conception avec Cercon® Art.	92
2. 4. 2. 3. Fabrication prothétique (F.A.O.).	93
2. 4. 2. 3. 1. Les procédés soustractifs.	93
2. 4. 2. 3. 2. Les procédés additifs.	95
2. 4. 2. 3. 3. Fabrication avec Cerec InLab.	96
2. 4. 2. 3. 4. Fabrication avec Cercon® Brain.	97
2. 4. 2. 4. Indications et conséquences cliniques.	98
2. 4. 2. 4. 1. Wax-up.	98
2. 4. 2. 4. 2. Prothèse fixée.	100
2. 4. 2. 4. 3. Prothèse amovible.	102
2. 4. 2. 4. 4. Prothèse maxillo-faciale.	104
2. 4. 3. ... au cabinet dentaire : le Cerec 3D®.	105
2. 4. 3. 1. Acquisition.	105
2. 4. 3. 2. Conception prothétique.	105
2. 4. 3. 3. Fabrication prothétique.	108
2. 4. 3. 4. Indications et conséquences cliniques.	109
2. 5. Perspectives d'avenir.	111
2. 5. 1. Pour le praticien et son cabinet.	111
2. 5. 1. 1. Le cabinet du futur.	111
2. 5. 1. 2. Se poser les bonnes questions avant d'investir.	111
2. 5. 2. Pour le prothésiste.	112
2. 5. 2. 1. De nouvelles relations praticien-prothésiste.	112
2. 5. 2. 2. Prothésiste dentaire : une profession en voie de disparition ?	113
2. 5. 3. Pour le patient.	114
2. 5. 3. 1. De nouvelles relations praticien-patient.	114
2. 5. 3. 2. Une époque de ruptures.	115
2. 5. 3. 2. 1. Rupture d'ordre social et de communication.	115
2. 5. 3. 2. 2. Rupture démographique.	116
2. 5. 3. 2. 3. Rupture économique.	117
2. 6. Conclusion.	117
3. APPORT DE L'ASSISTANCE INFORMATIQUE EN ORTHODONTIE.	118
3. 1. Introduction.	118

3. 2. Représentation tridimensionnelle des arcades dentaires. _____	119
3. 2. 1. Techniques de numérisation. _____	119
3. 2. 1. 1. Numérisation indirecte. _____	119
3. 2. 1. 1. 1. Installation du logiciel. _____	119
3. 2. 1. 1. 2. La prise d’empreinte. _____	119
3. 2. 1. 1. 3. La numérisation des modèles. _____	120
3. 2. 1. 1. 4. Envoi des modèles numérisés au praticien. _____	120
3. 2. 1. 1. 5. Technique dite « non destructive ». _____	120
3. 2. 1. 1. 6. Technique dite « destructive ». _____	120
3. 2. 1. 2. Numérisation directe. _____	121
3. 2. 1. 2. 1. Numérisation des arcades en bouche. _____	121
3. 2. 1. 2. 2. Numérisation des moulages au cabinet. _____	123
3. 2. 1. 3. Schématisation 3D à partir de la 2D. _____	126
3. 2. 1. 4. Scanner avec reconstruction 3D. _____	126
3. 2. 1. 4. 1. Généralités. _____	126
3. 2. 1. 4. 2. Cépha 3 DT et Cépha C2000. _____	127
3. 2. 1. 4. 3. NewTom 9000 et NewTom 3G. _____	129
3. 2. 2. Applications. _____	131
3. 2. 2. 1. Stockage et conservation des modèles dentaires. _____	131
3. 2. 2. 2. Diagnostic et traitement. _____	131
3. 2. 2. 3. Communication. _____	132
3. 3. Les différents logiciels pour moulages tridimensionnels. _____	132
3. 3. 1. OrthoCad®. _____	132
3. 3. 1. 1. Introduction. _____	132
3. 3. 1. 2. Présentation du logiciel. _____	132
3. 3. 1. 3. Outils diagnostiques. _____	135
3. 3. 1. 3. 1. Mesure du surplomb et du recouvrement. _____	135
3. 3. 1. 3. 2. Mesure de la longueur de l’arcade. _____	136
3. 3. 1. 3. 3. Mesure mésio-distale des dents. _____	136
3. 3. 1. 3. 4. Calcul de la différence entre espace disponible / espace nécessaire. _____	137
3. 3. 1. 3. 5. Analyse de Bolton. _____	137
3. 3. 1. 3. 6. Les mesures possibles sur les arcades. _____	138
3. 3. 1. 3. 7. Analyse de Moyers et de Tanaka /Johnston. _____	138
3. 3. 1. 3. 8. Les autres mesures possibles et autres fonctions. _____	139
3. 3. 2. Emodels®. _____	140
3. 3. 2. 1. Introduction. _____	140
3. 3. 2. 2. Présentation du logiciel. _____	140
3. 3. 2. 3. Outils diagnostiques. _____	142
3. 3. 3. Invisalign®. _____	143
3. 3. 3. 1. Introduction. _____	143
3. 3. 3. 2. Les différents composants du système Invisalign®. _____	143
3. 3. 3. 3. Procédures de traitement. _____	144
3. 3. 3. 3. 1. Diagnostic et objectif de traitement. _____	145
3. 3. 3. 3. 2. Examens complémentaires. _____	146
3. 3. 3. 3. 3. Empreintes. _____	147
3. 3. 3. 3. 4. Expédition du dossier. _____	151
3. 3. 3. 3. 5. Etude du dossier par Align technologyInc®. _____	152
3. 3. 3. 3. 6. Contrôle du ClinCheck par l’orthodontiste _____	154
3. 3. 3. 3. 7. Réalisation des <i>aligners</i> . _____	163

3. 3. 3. 4. Indications et limites cliniques.	166
3. 3. 3. 4. 1. Indications.	166
3. 3. 3. 4. 2. Contre-indications absolues et relatives.	170
3. 3. 3. 5. Avantages pour le praticien et le patient.	173
3. 3. 3. 5. 1. Pour le praticien.	173
3. 3. 3. 5. 2. Pour le patient.	175
3. 3. 3. 6. Inconvénients pour le praticien et le patient.	177
3. 3. 3. 6. 1. Pour le patient.	177
3. 3. 3. 6. 2. Pour le praticien.	178
3. 3. 4. Bibliocast®.	185
3. 3. 4. 1. Les mesures possibles.	186
3. 3. 4. 1. 1. Les distances.	186
3. 3. 4. 1. 2. Recouvrement et surplomb.	187
3. 3. 4. 2. Autres possibilités.	188
3. 4. Applications cliniques.	189
3. 4. 1. Set-up virtuel.	189
3. 4. 1. 1. Introduction.	189
3. 4. 1. 2. Réalisation du set-up : sept étapes.	190
3. 4. 1. 2. 1. Choix de l'appareillage.	190
3. 4. 1. 2. 2. Réglage des rapports incisifs.	190
3. 4. 1. 2. 3. Etape mandibulaire.	191
3. 4. 1. 2. 4. Etape maxillaire.	192
3. 4. 1. 2. 5. Finition de la classe molaire.	193
3. 4. 1. 2. 6. La largeur d'arcade.	193
3. 4. 1. 2. 7. La fermeture des diastèmes/espaces.	194
3. 4. 1. 3. Les autres fonctions possibles.	195
3. 4. 1. 3. 1. Précision de la position des brackets.	195
3. 4. 1. 3. 2. Individualisation de la forme d'arcade.	195
3. 4. 1. 3. 4. Alignement des brackets.	196
3. 4. 2. Placement guidé des brackets.	197
3. 4. 2. 1. Introduction.	197
3. 4. 2. 2. Description de la mise en œuvre.	197
3. 4. 3. Fabrication d'arcs et de brackets sur-mesure en lingual	198
3. 4. 3. 1. Introduction.	198
3. 4. 3. 2. La fabrication des brackets et fils.	198
3. 4. 3. 3. Conclusion.	199
3. 4. 4. Fabrication d'arcs personnalisés en vestibulaire.	199
3. 4. 5. Collage indirect.	200
3. 5. Perspectives d'avenir en orthodontie.	204
3. 6. Discussion.	204
CONCLUSION.	206
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	207
TABLE DES ABREVIATIONS	219
TABLE DES ILLUSTRATIONS	221
AUTORISATIONS DE REPRODUCTION	226

INTRODUCTION.

On peut d'ores et déjà dire que le XXI^e est le siècle du numérique. Le phénomène a envahi tous les secteurs et l'odontologie n'a pas échappé à la règle : l'informatisation des cabinets est une réalité qui s'impose aujourd'hui. Ainsi, qui pouvait entrevoir il y a quelques années, la possibilité d'utiliser de manière systématique l'imagerie 3D au cabinet dentaire ? Parallèlement, les nouvelles techniques de l'information et de la communication (N.T.I.C.) prennent le pas sur les moyens traditionnels. Et nous ouvrent de belles perspectives d'avenir !

Si certains domaines n'en sont plus à leurs débuts - gestion informatisée du cabinet, radiographie numérique -, il en existe d'autres, comme ceux des logiciels d'analyse, de la C.F A.O., dans lesquels beaucoup reste à faire.

En 2009, rares sont les praticiens qui peuvent se passer de l'informatique au sein de leur cabinet ; cette dernière est même officiellement enseignée dans certaines facultés de France. Mais il est important de rappeler que l'informatique odontologique, âgée d'une vingtaine d'années, n'en est encore qu'à son adolescence... L'avenir lui appartient donc !

C'est pourquoi il nous a paru intéressant de traiter du sujet de l'assistance informatique en Odontologie, parce qu'elle est en plein essor actuellement et qu'elle sera sûrement incontournable d'ici quelques années. Nous aborderons spécifiquement, dans ce travail, ses apports dans la pratique prothétique, d'une part, ainsi que dans la pratique orthodontique, d'autre part.

Auparavant, nous exposerons quelques notions, générales mais essentielles, sur l'informatique, depuis la description du matériel jusqu'à la législation en vigueur dans ce domaine.

1. INFORMATIQUE : NOTIONS GENERALES.

1. 1. Définition.

L'informatique, contraction de *information* et *automatique*, est la « science du traitement automatique et rationnel de l'information en tant que support des connaissances et des communications. Le traitement automatique de l'information nécessite de capter les informations par des organes d'entrée, de transmettre ces informations par des lignes de transmission, de les stocker dans des mémoires, de les traiter dans une unité de traitement grâce à un logiciel et, enfin, de les restituer à l'utilisateur par des organes de sortie » (*Le Petit Larousse*, 2008).

La principale machine dédiée au transport et au traitement de l'information est l'ordinateur. D'une façon pratique, il transforme, par le traitement que l'on a défini pour lui et qu'il applique, des données d'entrée en résultats de sortie [25].

Dans un ordinateur, toute information est codée sous la forme de bits (*binary digit*), unité élémentaire d'information qui ne peut prendre, comme son nom l'indique, que 2 valeurs distinctes (0 ou 1). Par la suite, ces bits, concrétisés par des signaux électriques, seront transférés, mémorisés, composés logiquement dans les circuits de traitement des ordinateurs [25].

1. 2. Historique.

1. 2.1. Les précurseurs.

Charles Babbage, appelé aussi « Le Père de l'Ordinateur », a dessiné, dès 1822, deux machines : la machine différentielle, puis la machine analytique. La machine analytique était capable de résoudre n'importe quelle équation et d'exécuter les opérations les plus compliquées de l'analyse mathématique. Il a défini les règles de construction de la meilleure machine à calculer [114] :

- une unité d'entrée pour communiquer le traitement de la machine ;
- une mémoire pour stocker les données et les résultats intermédiaires ;
- une unité de commande pour contrôler l'exécution du traitement ;
- une unité arithmétique et logique pour réaliser les calculs ;
- une unité de sortie pour lire les résultats.

Ces règles ont été utilisées par la suite pour dessiner les premiers ordinateurs.

En 1889, Herman Hollerith construit une tabulatrice à cartes perforées pour accélérer le traitement des données du recensement américain de 1890. Quelques années plus tard, il fonde la firme *Tabulating Machine Corporation* qui deviendra IBM® (ou International Business Machines) [114].

Dans les années 40, Howard Aiken et son équipe (avec le soutien d'IBM®) créent une calculatrice avec des relais électromécaniques à Harvard. C'est la première vraie calculatrice universelle, nommée *Mark 1* ; elle pèse près de 5 tonnes. Parallèlement, avec la guerre, apparaît le *Colossus* pour assister les Anglais à briser les codes secrets de l'Armée allemande [114].



Fig. 1 : MARK 1
Informatique Odontologique : du B. A.-BA à la maîtrise © Editions CdP [25]

Le calcul électronique se développe réellement en 1945 avec l'*ENIAC* (*Electronic Numerical Integrator and Computer*). En effet, le premier calculateur électronique binaire universel est créé à cette époque à la Moore School of Engineering par J.P.Eckert et J.W.Mauchly. Il pesait 30 tonnes et couvrait une surface de 160 m² [114].

1. 2. 2. La miniaturisation.

L'invention du transistor à la fin des années 50 révolutionne les ordinateurs : plus rapides, plus petits, les ordinateurs à transistors marquent un tournant. La deuxième génération des ordinateurs est née. La troisième génération des ordinateurs apparaîtra en 1964 avec la création du circuit intégré chez Texas Instruments® par Jack Kilby. L'idée était de concentrer dans le volume le plus réduit possible un maximum de fonctions logiques [35, 114].

Depuis, le concept n'a cessé de se développer, son évolution majeure étant le microprocesseur d'Intel®. Le microprocesseur a marqué le début de la quatrième génération des ordinateurs, qui continue à présent. Avec le microprocesseur, les ordinateurs ont continué de devenir plus petits et plus rapides [35, 114].

Ainsi, depuis les années 50, nous sommes passés de la mini-informatique à la micro-informatique, qui a envahi à peu près tous les secteurs d'activité, dont le nôtre. L'ordinateur est devenu un outil utilisé au quotidien, incontournable dans la vie de tous les jours [25].

Rappel chronologique [114]

1642 : La machine arithmétique mécanique par Blaise Pascal.

1673 : Gottfried Leibniz met au point la calculatrice à étages, une machine à calculer capable d'effectuer les quatre opérations de base des mathématiques.

1822 : La conception de la machine différentielle par Charles Babbage.

1833 : La conception de la machine analytique par Charles Babbage.

1889 : La construction d'une tabulatrice à cartes perforées par Herman Hollerith.

1896 : La fondation de la firme *Tabulating Machine Corporation* par Herman Hollerith.

1904 : L'invention du premier tube à vide (la diode) par John Fleming.

1907 : L'invention de la triode.

1924 : *Tabulating Machine Corporation* est renommée IBM® (International Business Machines).

1938 : La création de *Versuchmodell 1* (littéralement « modèle de recherche », ordinateur programmable en mode binaire et mécanique) par Konrad Zuse.

1940 : La construction de la calculatrice de nombres complexes par Georges Stibitz.

1943 : La création de la première vraie calculatrice universelle par Howard Aiken. La création du *Colossus* par l'Armée anglaise.

1946 : La construction de l'*ENIAC* par J.P.Eckert et J.W.Mauchly.

1947 : L'invention du transistor aux *Bell Telephone Laboratories*.

1949 : La création de l'*EDSAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer)*.

1951 : La construction de l'*UNIVAC (Universal Automatic Computer)*.

1956 : La création du *TRADIC (Transistor Digital Computer)*.

1958 : La création des premiers ordinateurs commercialisés à transistor. L'invention du circuit intégré. L'invention du premier Modem par *Bell Telephone Laboratories*.

1967 : La création du premier lecteur de disquettes.

1971 : Le premier microprocesseur de l'histoire est créé.

1972 : La fondation de la compagnie *Traf-O-Data* par Bill Gates et Paul Allen.

1975 : *Traf-O-Data* est renommée *Microsoft*.

1976 : Fondation de la société Apple® et création de son premier ordinateur.

1981 : La création du *PC* par *IBM*.

1982 : La création du CD par *Philips* et *Sony*. *Compaq* commercialise le premier micro-ordinateur portable (il pesait tout de même 15 kg !).

1983 : Apple® lance le *Lisa*, premier ordinateur possédant une interface graphique (menus déroulants, fenêtres, corbeille etc.)

1984 : La création de l'Apple® *Macintosh* qui apparaîtra comme le grand concurrent du PC : les utilisateurs se partagent entre partisans de l'une ou l'autre des deux familles de machines.

Le premier lecteur de CD-ROM pour ordinateur a été créé par *Philips*.

1985 : La création de Windows par *Microsoft*. *Microsoft* livre en novembre Windows® 1.0 qui apporte l'interface graphique aux utilisateurs de PC.

1986 : *Microsoft* lance le tableur Excel® (d'abord connu sous le nom de *Multiplan*).

Compaq lance le marché des clones PC en produisant le premier *PC 386*.

L'utilisation de la messagerie électronique se développe aux Etats-Unis.

1987 : les *PC 386* détrônent les *PC AT*.

IBM lance la série *PS/2* et le système d'exploitation *OS/2*.

Apple lance le *Mac II*.

1989 : Portable *Macintosh* d'*Apple*®.

1990 : C'est l'année des routeurs et des *WAN* (*Wide Area Network*) interconnectant les réseaux locaux de l'entreprise.

Microsoft lance *Windows 3.0*®.

1991: *Windows*® est en position de monopole.

Naissance du *World Wide Web* : Tim Berners-Lee, au CERN de Genève (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*), monte le premier serveur Web.

1993 : Début du déploiement du *Pentium*. Intel® lance le processeur 60 MHz *Pentium*, Apple® sort le *Newton* et *Microsoft* lance *Windows NT*®.

1995 : Les *Notebooks* (ordinateurs portables) deviennent une alternative au *Desktop* (ordinateurs de bureau) avec les portables *Pentium*. Il en résulte un développement du télétravail.

En août, *Microsoft* livre *Windows 95*® et Intel® lance le *Pentium Pro* à 150-200 MHz.

CompuServe, AOL et Prodigy commencent à offrir des accès au Web.

1996 : *Windows 95®* confirme son emprise sur le PC.

Les entreprises commencent à développer des sites Web. *Microsoft* adopte finalement le Web.

Apparition de l'*USB (Universal Serial Bus)*, servant à connecter des périphériques à un ordinateur. Il remplace ainsi les nombreux ports externes d'ordinateur, lents et incompatibles.

1997 : Le commerce électronique démarre.

La navigation sur le Web devient facile avec des browsers et des outils de recherche améliorés. La puissance de traitement s'accroît lorsque Intel® annonce le *Pentium* 200 MHz avec la technologie MMX.

1998 : *iMac* d'Apple® et commercialisation de la version suivante de *Windows* (*Windows 98®*).

L'*iMac* est l'ordinateur d'Apple® pour le nouveau millénaire. C'est l'ordinateur le plus original depuis le premier Mac de 1984: Design très particulier, écran et unité centrale intégrés dans un seul boîtier, ports USB et suppression du lecteur de disquette interne.

2001 : Clé USB et nouvelle version de *Windows®* (*Windows XP®*).

La clé USB est une puce mémoire de la taille d'une clé et dotée d'un connecteur USB. Les capacités actuelles dépassent largement celles d'un CD-ROM avec l'avantage d'être réinscriptible à volonté.

2006 : *Mac* à processeur Intel®

Apple choisit de délaissé les microprocesseurs *PowerPC* et d'utiliser le même processeur Intel® que n'importe quel PC. La transition est quasiment invisible pour l'utilisateur final grâce à l'invention des *Universal binaries* qui sont des programmes compilés pour les 2 architectures et "collés" dans un même exécutable.

2007 : Windows Vista®

Lancement mondial du nouveau système d'exploitation de Microsoft® pour le grand public. Renouveau de l'interface graphique, outils de création multimédia et simplification du partage de fichiers entre ordinateur et périphériques font partie des nouvelles fonctionnalités du système.

2008 : Commercialisation du Pentium® *Dual Core E* (2,4 GHz).

1. 2. 3. Internet.

1. 2. 3. 1. Historique.

L'Internet est l'invention du Département Américain de la Défense qui voulait, au plus fort de la Guerre Froide, un réseau de télécommunications reliant de grands centres de calculs. Son objectif était de transmettre les informations quelles que soient les conditions, y compris pendant une guerre nucléaire [114].

Ainsi naquit le réseau *ARPANET (Advanced Research Project Agency)*, auquel se joindront plus tard des universités et des centres de recherche du monde entier. La vocation de ce réseau est l'échange d'informations scientifiques entre chercheurs. *ARPANET* sera par la suite interconnecté avec d'autres réseaux pour devenir *L'INTERNET (INTERconnected NETwork)*. Il est composé d'une multitude de serveurs, c'est à dire des ordinateurs, rassemblant des informations sur un sujet donné. Ainsi, il offre un certain nombre de services à ceux qui y accèdent, à distance, par micro-ordinateur et réseaux de télécommunications [114].

Aujourd'hui, le réseau compte plus de 40 millions d'utilisateurs, dont plus des deux tiers sont hors Etats-Unis. Grâce à l'Internet, ils échangent des messages, discutent des sujets les plus divers et consultent des banques de données dans tous les domaines [114].

1. 2. 3. 2. Qui gère l'Internet ?

L'Internet n'est géré par aucun groupe en particulier, c'est un immense ensemble de réseaux tous différents. Ces groupes et organisations suivent un "protocole" de télécommunications communs, ce qui leur permet de relier les réseaux entre eux. Dans chaque pays il y a des "backbone public network" qui ont accès à tout le globe.

Les protocoles de télécommunication comme TCP/IP sont déterminés par l'*IETF* (*Internet Engineering Task Force*) qui fait partie de l'*Internet Society* [114].

En résumé, Internet est un réseau fédératif riche et vaste qui appartient à la fois à personne et à tout le monde. Cette "démocratisation" et cette diversité ne vont pas sans poser des problèmes [114].

1. 2. 3. 3. La navigation sur l'Internet.

Il est très facile de naviguer ou de "surfer" sur l'Internet grâce à des moteurs de recherche très efficaces (tels que *google.com* par exemple). Ces sites sont faciles à utiliser, conviviaux et l'information est trouvée en quelques instants. Écrire le mot "INTERNET" dans le cadre de recherche retourne 7.020.000.000 références en 0,34 seconde [114].

1. 2. 3. 4. La sécurité sur l'Internet.

Au-delà des invasions de virus par l'Internet, largement commentées par la presse alors qu'elles restent limitées à l'installation de nouvelles applications sur le disque dur, la confidentialité des messages, l'authenticité des informations, le piratage sont autant de problèmes que pose l'ouverture de l'Internet [26, 114].

1. 3. Description.

1. 3. 1. Standards.

1. 3. 1. 1. PC.

Ce sont les *Personal Computer*, conçus à l'origine pour réaliser le travail personnel, aussi bien dans le monde professionnel que domestique. On les qualifie de systèmes dits « ouverts », permettant l'assemblage ; mais c'est aussi là leur limite, puisque cette hétérogénéité peut nuire à la compatibilité avec certains périphériques [25, 35].

1. 3. 1. 2. Macintosh.

L'originalité du standard Macintosh était représentée par le multifenêtrage (fenêtres, icônes, pictogrammes...) et la gestion par la souris. A l'époque, cela conférait au système une grande convivialité, qui s'est désormais étendue aux autres standards [25].

1. 3. 2. Micro-ordinateurs.

Ils sont constitués d'une unité centrale, d'un écran et éventuellement d'un clavier, d'une souris et de périphériques [25, 35]. Les composants internes de ces différentes sous-unités ne seront pas développés de manière technique dans le cadre de ce travail.

1. 3. 2. 1. Types.

Globalement, il y a en 2 types : les ordinateurs de bureau et les ordinateurs portables, ou *Notebooks*.

On peut aussi citer les PDA (*Personal Digital Assistant*), les organisateurs personnels (Palm®) et les téléphones portables [25].

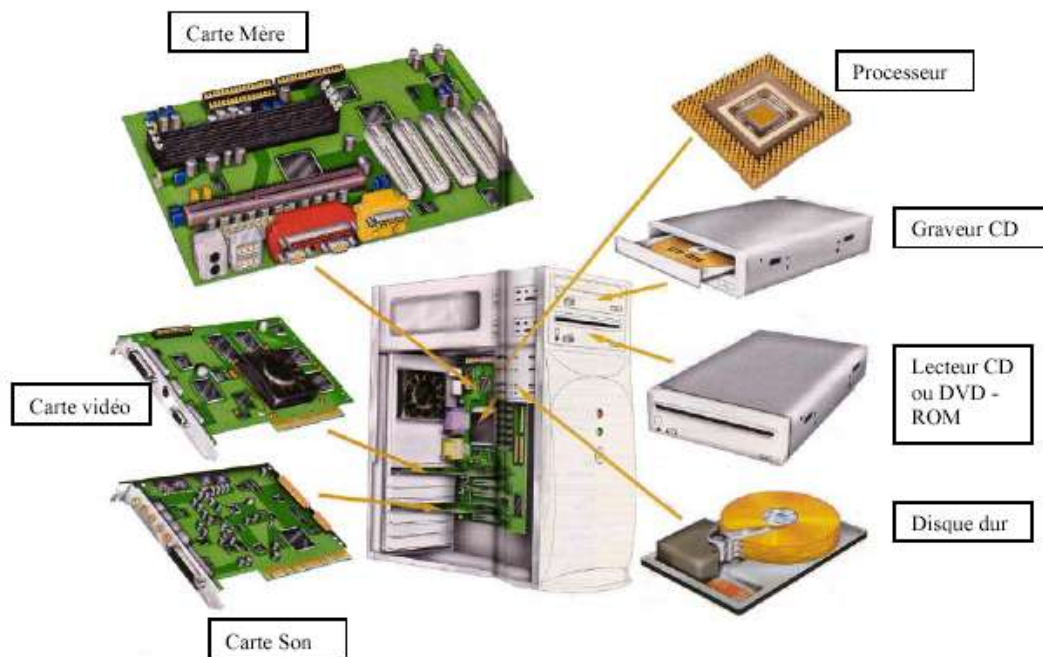
1. 3. 2. 2. Unité centrale.

Elle comprend un boîtier, vertical (appelé aussi *tower*) ou horizontal (ou *desktop*) [25].

Dans ce boîtier, on trouve [35] :

- Une carte mère : c'est elle qui va permettre à chaque composant de communiquer entre eux ;
- Un processeur : c'est le cerveau du micro-ordinateur (exemple : Intel Pentium Dual Core®) ;
- De la mémoire vive ou RAM (*Random Access Memory*) : elle sert à stocker les informations avant et après le traitement par le microprocesseur : c'est la mémoire de travail. Elle s'efface quand on éteint l'ordinateur ;
- De la mémoire morte ou ROM (*Read Only Memory*) : elle sert à stocker de manière permanente les spécificités de lancement de l'ordinateur ;
- La carte vidéo : elle gère l'affichage à l'écran des informations ;
- La mémoire de masse : il s'agit du disque dur. Il stocke les informations sur des pistes magnétiques, de manière permanente, jusqu'à ce qu'on les efface, ou qu'une mauvaise manipulation ne survienne ;
- Les lecteurs de support amovibles : qu'il s'agisse des disquettes, des CD-ROM, des disques durs amovibles et autres lecteurs de DVD, des graveurs et autres Zip®, Jaz®..., tous ont pour objectif de stocker des informations afin de les sauvegarder.

- Les cartes d'extension : elles servent à donner de nouvelles fonctionnalités à l'ordinateur. Par exemple, à acquérir de l'image via une carte d'acquisition vidéo, à afficher sur plusieurs écrans, à se connecter en réseau, à écouter du son et de la musique, à se connecter à Internet...



1) Processeur. 2) Lecteur CD. 3) Graveur CD. 4) Disque dur. 5) Carte Son. 6) Carte vidéo. 7) Carte Mère.

Fig. 2 : organisation générale d'une unité centrale [35]

1. 3. 3. Périphériques.

1. 3. 3. 1. Ecran.

Il permet d'afficher les informations envoyées par l'unité centrale. C'est le principal périphérique de sortie. Les écrans plats ont pris le pas sur les écrans cathodiques traditionnels, pour des raisons d'hygiène, d'ergonomie, d'encombrement et d'esthétique. Ils sont plus confortables, provoquent moins de fatigue visuelle et leur coût n'est plus un obstacle aujourd'hui [25].

1. 3. 3. 2. Clavier et souris.

Ils servent d'interface entre l'homme et l'ordinateur. La technique sans fil, utilisant les ondes radios, s'impose aujourd'hui, parce qu'elle améliore considérablement leur ergonomie et l'hygiène. Quant à la technologie optique, elle permet de s'affranchir du

tapis de souris et de la boule (nécessitant un entretien régulier). Les deux réunies offrent donc des interfaces hygiéniques et pratique à la fois [25, 26, 35].

1. 3. 3. 3. Imprimantes.

Elles permettent l'édition des courriers, ordonnances, radiographies... que l'on désire conserver ou transmettre sur support papier ou transparent. Cinq technologies d'imprimantes coexistent, mais deux seulement sont adaptées à une utilisation quotidienne au cabinet dentaire : les imprimantes jet d'encre et les imprimantes laser [35].

1. 3. 3. 4. Unités de stockage.

On distingue [25] :

- les disques magnétiques (disques durs externes ou internes) ;
- les CD-ROM, DVD-ROM ;
- les clés USB.

1. 3. 4. Programmes/logiciels.

1. 3. 4. 1. Système d'exploitation.

Un ordinateur, sans instruction, ne sert pas à grand-chose. Les instructions sont contenues dans des programmes qu'on appelle logiciels (*software*). Parmi ces programmes, il en est un qui est essentiel au fonctionnement de l'ordinateur. Il s'agit du système d'exploitation, « logiciel gérant un ordinateur, indépendant des programmes d'application mais indispensable à leur mise en oeuvre ». (*Le Petit Larousse*, 2008).

On peut citer [25] :

- MS-DOS : ancien système d'exploitation Microsoft ;
- Windows NT, XP, Vista...;
- Mac-Os : système d'exploitation des ordinateurs Macintosh ;
- Linux, Unix...

1. 3. 4. 2. Logiciels d'applications.

Le succès des micro-ordinateurs est apparu lorsqu'on a développé des logiciels pour réaliser des applications utiles. Les logiciels d'applications permettent aux ordinateurs de remplir des tâches diverses [25] :

- traitement de texte (Word® de *Microsoft*),

- tableurs (Excel® de *Microsoft*),
- dessin, retouche photographique (Photoshop® de *Adobe*).

1. 3. 4. 3. Logiciels d'applications spécifiques en odontologie.

Il répondent uniquement aux besoins d'un cabinet dentaire, et rien d'autre. Ils seront développés dans la partie suivante.

1. 4. Applications de l'informatique en odontologie.

Le temps de travail d'un Chirurgien Dentiste peut se diviser en un temps administratif, un temps comptable et un temps clinique. Les deux premières phases sont à la fois chronophages et fastidieuses. Et c'est ici que l'informatique se révèle être une aide précieuse. En effet, elle effectue les tâches répétitives sans effort, sans erreur, rapidement et bien. A partir d'une saisie, généralement dans la fiche de soins, les données enregistrées sont traitées et transmises à tous les compartiments du programme où elles sont nécessaires : c'est là toute la différence avec la saisie manuelle, qui obligeait avant à retranscrire plusieurs fois la même information. De plus, la clarté et la standardisation des présentations des éditions facilitent la lecture des pharmaciens, de la sécurité sociale ou encore de l'administration fiscale [24, 27].

1. 4. 1. Applications administratives.

Le temps administratif comprend la tenue des dossiers patients, la réalisation des feuilles de soins, des documents destinés aux mutuelles et autres assurances complémentaires, des ordonnances, des devis, la gestion des « tiers-payant » et autres paiements différés, la relance des impayés, la gestion des rappels de contrôle, etc. [27]. C'est aussi la gestion de la traçabilité des produits utilisés au cours des soins et les décisions concernant le stock de consommables, les investissements (renouvellement et/ou acquisitions nouvelles d'appareils, instruments,...), la formation permanente du praticien et du personnel, ... [22, 24].

1. 4. 1. 1. Dossier Patient.

Il n'existe pas de disposition législative formelle précisant qu'un Chirurgien Dentiste doit tenir un dossier de son patient, mais une obligation consubstantielle au contrat

médical [13] ; la jurisprudence, puis la loi du 4 mars 2002 [80], en autorisant l'accès du patient à son dossier, ont définitivement consacré cette obligation.

Quel est son rôle ? Le dossier d'un patient rassemble l'ensemble de ses informations médicales et administratives, permettant sa prise en charge complète. Le Chirurgien Dentiste recueille donc, non seulement, les informations relatives à la sphère orale, mais aussi toutes les données médicales pouvant interférer avec ses soins [65].

Ainsi, les logiciels de cabinet permettent de tenir les dossiers et de les gérer de façon commode et automatisée [67]. Les données concernant l'état civil du patient, ses informations sociales (codes des caisses, mutuelles, CMU...souvent récupérés à partir de la carte Vitale), ses antécédents médicaux et médications en cours y sont inscrites, au même titre que les plans de traitement, commentaires, devis, et autres correspondances. Le schéma dentaire, les actes effectués ainsi que les règlements d'honoraires y sont saisis, et reliés directement à l'édition des feuilles de soins. L'imagerie médicale - le plus souvent radiographie numérique, mais aussi vidéo, photographie - y est jointe [67, 27]. Pour le praticien, inutile de préciser que le gain de place par rapport aux anciens dossiers cartonnés est considérable. C'était d'ailleurs l'un des objectifs premiers des pionniers des logiciels de cabinet (Drs Pandolfo et Audureau) [115]. Mais on peut cependant regretter que la plupart des logiciels dentaires soient centrés sur l'acte et sa cotation, plutôt que sur l'approche globale et médicale [22, 27].

1. 4. 1. 2. Télétransmissions.

Lancée en 1998, la carte Vitale a vite été adoptée par la majorité des patients et des professionnels de santé qui se sont, par conséquent, informatisés. En avril 2009, 78% des Chirurgiens Dentistes ont télétransmis, contre 9% en avril 2002. Elle a permis aux praticiens de réaliser et de transférer les Feuilles de Soins Electroniques (FSE) aux caisses d'Assurance Maladie, mais aussi d'accéder aux portails RSS et médicaux, d'échanger avec d'autres professionnels de santé ou de recevoir des alertes sanitaires. Parallèlement, la simplification des démarches administratives et les remboursements dans des délais très courts ont été des éléments déterminants à son acceptation par les assurés [18].

Mais aujourd'hui, sa première version apparaît obsolète. C'est pourquoi, depuis mars 2007, une Carte Vitale 2 est adressée aux assurés de plus de 16 ans. Dotée d'une capacité de 32 ko, soit 4 fois plus que la précédente, elle devient une véritable carte

d'identité de santé : photographie du titulaire visible et aussi intégrée dans la puce, informations d'urgence, médicales, opposition au don d'organe, etc. La carte Vitale 2 dispose d'une sécurité renforcée (mécanismes cryptographiques, conformité au standard défini par l'Etat pour l'administration électronique) mais insuffisante apparemment puisque des informaticiens ont démontré qu'une faille du système permettait de dupliquer une carte Vitale, voire d'en créer une... [18].

Les nouveautés apportées ont donc essentiellement pour but de réduire les risques de fraude mais aussi de maîtriser les soins. Car, outre les données médicales qu'elle contient, la carte Vitale 2 sera le premier point d'accès au futur DMP ou Dossier Médical Personnel (voir paragraphe 1. 5., *Contraintes et désagréments de l'informatisation au cabinet dentaire*) [18].

1. 4. 1. 3. Prescriptions, devis et courriers.

Un certain nombre de tâches sont automatisables par l'utilisation de l'informatique. Les ordonnances, questionnaires médicaux et autres correspondances avec les confrères professionnels de santé ou les prothésistes en font partie. A ce titre, les échanges par mails, rapides et économiques, sont de plus en plus prisés par les professionnels [24].

La rédaction et l'édition des ordonnances, faites à partir d'une bibliothèque de médicaments établie par le Chirurgien Dentiste, sont facilitées par l'ordinateur qui rappelle, s'il y a lieu, les incompatibilités médicamenteuses et les problèmes de santé du patient. Certains logiciels sont interfacés avec Internet, comme *Dental-On-Line* [39, 64]. Des ordonnances types (motivation à l'hygiène, prémédications...) pour les actes redondants et fréquents peuvent aussi être enregistrées à l'avance ; il suffit de les éditer à la demande [27].

Concernant les courriers, des textes pré-rédigés sont proposés par les logiciels de cabinet dentaire [27] :

- lettres à des confrères,
- lettres à des médecins,
- lettres de relance,
- lettres de contrôle,
- certificats...

Les coordonnées sont choisies dans une bibliothèque d'adresses créée par le praticien lui-même ou directement issues du dossier administratif du patient et

automatiquement insérées. Les lettres de relance sont éditées selon une périodicité définie par le praticien, à partir de textes pré-rédigés et envoyées aux patients concernés. Le même genre de rappel automatique peut être fait pour les patients ayant accepté d'être contactés pour un rappel de leur rendez-vous. Le logiciel recherche et trie à partir du fichier patients les personnes correspondant aux critères et édite les courriers, ou bien envoie des mails ou des SMS (*Short Message Service*), comme la nouvelle version du logiciel Visiodent® le propose [22, 27].

1. 4. 1. 4. Rendez-vous.

Mise à part la fonction « rappel des rendez-vous » citée ci-dessus, la gestion des rendez-vous par ordinateur ne semble pas encore au point, tout du moins elle n'a pas encore fait ses preuves par rapport à l'habituel semainier, pratique et performant. Certains logiciels ont des pense-bêtes intégrés qui s'affichent le jour où l'action doit être réalisée, du type « *rappeler le prothésiste* » ou « *anniversaire assistante* ». Ce type d'utilitaire, sorte de Post-it® électronique, est retrouvé dans les applications comptables, où il rappelle l'échéance des prélèvements automatiques par exemple [27].

1. 4. 2. Applications comptables.

Le temps comptable est la tenue des livres de recettes et de dépenses, des comptes, des tableaux d'amortissement, la déclaration des revenus, etc. Pour certains, la comptabilité nécessite un deuxième logiciel ou le recours à une société comptable [27]. Le logiciel de cabinet n'assure que la tenue du livre des recettes (enregistrement de la date, du nom du patient, de la somme et du mode de paiement) et de celui des dépenses (saisie de la date, du destinataire, de la somme, du mode de paiement et du libellé). Au contraire, pour d'autres [3], le logiciel de cabinet peut parfaitement remplir cette tâche ; les praticiens n'utilisent que très rarement toutes les possibilités de leur logiciel. Ainsi, il est possible de calculer l'impôt, les amortissements, les salaires et d'en éditer les bulletins. Pour les recettes et les dépenses, une édition se fait généralement à la fin de chaque mois, ajoutant une nouvelle page des livres comptables et mettant à jour les comptes. Enfin, on peut calculer le rendement du cabinet, les heures de travail, les bénéfices... et les comparer aux années précédentes.

Un logiciel de gestion de cabinet dentaire doit donc permettre de traiter au moins les données citées précédemment. La liste n'est pas exhaustive, ces tâches représentent le minimum nécessaire pour que l'informatisation du cabinet soit performante et rentable [27]. C'est au praticien d'établir son cahier des charges et de choisir parmi les différentes options proposées par les éditeurs de logiciel. Il faut toutefois être vigilant sur certains points : les fonctions logicielles spectaculaires mais souvent inutiles et l'imagerie numérique (radio, vidéo, photo), qui ne serait pas interfacée à la gestion [3, 115].

Pour conclure, il faut retenir qu'un logiciel de gestion de cabinet dentaire doit être au service du praticien et de son équipe et non l'inverse ; il doit être convivial, facile à utiliser et évolutif, et bénéficier d'une maintenance performante [22].

1. 4. 3. Applications cliniques.

Après avoir exposé les apports de l'informatique dans les domaines administratifs et comptables, voyons ses applications cliniques au fauteuil.

1. 4. 3. 1. Radiologie numérique.

La radiologie numérique offre aujourd'hui au praticien la possibilité de faire toutes sortes de clichés, de la rétro-alvéolaire à 3D, au sein même du cabinet. L'obtention immédiate des images, la diminution considérable des doses de rayonnements ionisants reçus par les patients, la facilité de stockage et de transfert des images ont été des arguments déterminants pour que nombre de Chirurgiens Dentistes adoptent la radiologie numérique. En outre, elle est un instrument performant d'éducation du patient : expliquer et montrer une lésion carieuse au patient est nettement plus simple sur un écran que sur une rétro-alvéolaire de 4 cm sur 3 [104].

Les capteurs rigides, mis au point par le Dr Mouyen et la Société Trophy® dans les années 80, ont donc remplacé le classique film argentique [115]. Disponibles aujourd'hui avec ou sans fil selon les modèles et les marques, ils sont constitués :

- d'un scintillateur, qui va émettre de la lumière visible suite à l'absorption des rayons X. Le rendement de transformation des rayons X n'étant pas de 100%, un bloc de fibres optiques peut être adjoint (RVG®) [27] ;
- d'un dispositif à transfert de charge, le capteur CCD (*Charge-Coupled Device*), ou d'un capteur CMOS (*Complementary Metal-oxyde Semiconductor*). Ce sont des éléments à semi-conducteurs qui assurent la conversion de la lumière en

énergie électrique par effet photoélectrique. En effet, les CCD sont constitués d'une couche de silicium, cristal semi-conducteur, qui émet des électrons quand des photons frappent sa surface. Les électrons émis sont collectés et l'amplitude de la charge électrique est convertie proportionnellement en une image de différents niveaux de gris [104].

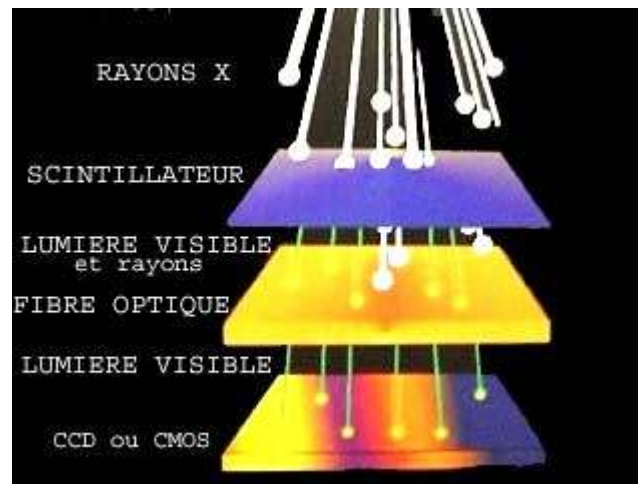


Fig. 3 : constitution d'un capteur CCD.
Informatique Odontologique : du B. A.-BA à la maîtrise © Editions CdP [27]

Les capteurs CMOS sont eux composés d'un arrangement de transistors reliés à la couche de silicium. Ainsi, lorsque cette dernière est frappée par la lumière, la charge générée est directement convertie en tension utilisable. Il n'y a donc pas de transfert de charges ; le temps d'acquisition est moins long [104, 125].

CCD et CMOS peuvent réaliser jusqu'à 2^{12} niveaux de gris sur une image ; la résolution est de 10 à 21 paires de lignes par millimètre [104].

Parallèlement à ces capteurs sont apparus les systèmes d'écrans radioluminescents à mémoire (ERLM), encore appelés *Photostimulable Phosphore Systems* (PSP). Ressemblant aux films argentiques, ces écrans au phosphore, une fois exposés aux rayons X, contiennent une image latente qui sera « développée » par un appareil périphérique ou intégré à l'ordinateur. Ils sont considérés comme étant des dispositifs numériques indirects, car la prise d'image se fait d'abord sous le mode analogue-continu ; puis un processus de scannage convertit secondairement l'image selon le mode numérique. Concrètement, les capteurs PSP se composent d'une fine couche de polyester recouverte de particules photoluminescentes (fluoro-halogénures de baryum dopées à l'euporium). L'énergie des rayons X incidents est stockée dans la

structure puis restituée de façon proportionnelle sous forme de photons lumineux lors d'un balayage laser. La lumière émise est transformée en électrons par photodiode, amplifiée et enfin numérisée en une image de différents niveaux de gris (2^8 niveaux, résolution de 6 à 20 paires de lignes par millimètre) [27, 104].

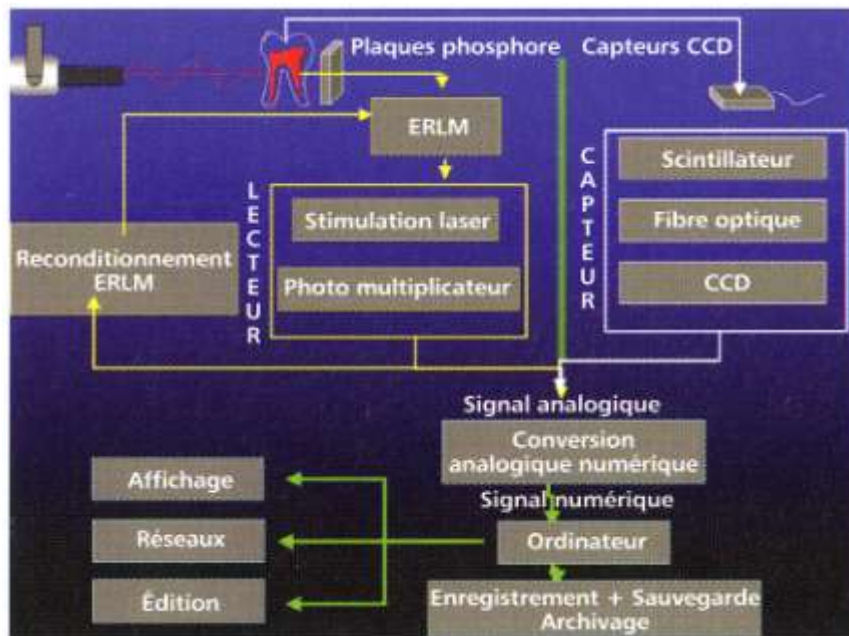


Fig. 4 : principes de fonctionnement comparés des ERLM et des CCD.
Informatique Odontologique : du B. A.-BA à la maîtrise © Editions CdP [27]

	CCD	ERLM
Bruits parasites	relativement	peu
Résistance aux rayons X	relative	réutilisable
Sensibilité aux sur/sous expositions	assez grande	peu importante
Rigidité du capteur	totale	très faible
Vitesse d'obtention de l'image	instantanée	de 30 à 1.5 minute
Commodité de la mise en œuvre	excellente	bonne
Réduction des doses de radiations ionisantes reçues	relative	relative
Quantité d'informations recueillies	importante	très importante
Quantité d'informations exploitées/informations recueillies	importante	peu importante
Coût	très élevé	faible
Nombre de réutilisations	illimité en principe	limité

Fig. 5 : avantages et inconvénients des CCD et des ERLM (*d'après [27]*)

Les avantages de la radiologie numérique sont nombreux : suppression des bains de développement, résultats immédiats (à nuancer pour les ERLM, avec 20 à 40 secondes d'attente), possibilité de modifier la densité, le contraste, de mesurer les structures, transfert rapide des images vers les confrères, exploitation dans d'autres environnements logiciels [104]... Mais aussi parfois utilisation frauduleuse de ces applications [21].

En effet, exporter des radiographies numériques vers des logiciels de traitement de photographies type *Photoshop®* (*Adobe systems Inc, San Jose, CA*) est tout à fait possible. Car la radiographie numérique est avant tout une image numérique, composée de pixels, auxquels correspond une valeur-couleur. Par conséquent, quand une radiographie numérique originale est exportée sous un certain format (TIFF, JPEG, BMP) à partir du logiciel dentaire vers un programme de transformation de photographies, elle peut y être ouverte et modifiée. Le problème a été pointé dès 1996 par des compagnies d'assurance : ces dernières recevaient des impressions de

radiographies numériques falsifiées par des Chirurgiens Dentistes (simulation de lésions péri-apicales, restaurations défectueuses...) pour justifier des soins réalisés. Dès lors, des mesures ont été prises pour prévenir de telles pratiques [21].

Les méthodes garantissant l'authenticité des images digitales médicales sont nombreuses : la plupart des logiciels de radiologie numérique ont des programmes de vérification intégrés, rendant l'image floue, ou inexploitable (*Trophy®*) lorsque son format d'origine a été changé, ou bien intégrant un marquage d'erreur (*Schick Technology®*) ou interdisant sa réouverture dans le dossier patient (*Sidexis®*, *Sirona®*) dès lors que la radio a été modifiée. Avec ce genre de méthodes, le praticien est condamné à exporter l'image sous son format original vers des ordinateurs utilisant des logiciels du même fabricant. Le destinataire sera ainsi assuré qu'aucune modification frauduleuse n'aura été faite sur la radiographie.

Dans le cas où l'image est exportée sous d'autres formats, type DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), standard d'échange d'imagerie médicale, il existe d'autres solutions pour protéger les documents, dont l'une des plus sécurisante est la stéganographie [21].

Pour mieux comprendre la stéganographie, il faut d'abord se rappeler que l'image numérique est composée de pixels, que chacun d'entre eux a un « code-couleur ». Le nombre de couleurs différentes qui peuvent être représentées par un pixel dépend du nombre de bits par pixel (bpp). Un bit peut prendre 2 valeurs : 1 ou 0. Si un pixel est déterminé par un bit, ce pixel ne pourra avoir que 2 valeurs et donc, ne représenter que 2 couleurs - par exemple blanc et noir. C'est insuffisant pour composer une image ; par contre, plus il y aura de bits par pixel, plus il y aura de niveaux de couleur exprimés. Puisqu'une radiographie numérique est constituée de niveaux de gris, 8 bits par pixel sont suffisants dans ce domaine (10011000, 01110101, etc.), soit 2^8 ou 256 niveaux de gris [21].

La stéganographie étant l'art de dissimuler des données à l'intérieur de données, un *checksum*¹ peut être caché dans l'image, en changeant les bits de faible poids, i-e les huitièmes bits de chaque série, aussi appelés *LSBs* pour *Least Significant Bits*. Ainsi, le pixel 10011000, transformé en 10011001, code pour le niveau de gris suivant. Et puisque chaque pixel a 2^8 , soit 256 possibilités de niveaux de gris, il y aura un changement de $1/256$, soit 0.39% de l'intensité du pixel. Autant dire que,

¹ *Checksum* : séquence de lettres, de chiffres, définissant de manière précise un fichier afin de savoir s'il a été altéré.

pour l'homme, le résultat de l'image sécurisée est équivalent à l'original. Pour vérifier l'authenticité de l'image, il suffit de contrôler le *checksum* : s'il est différent de l'original, alors des pixels ont été modifiés. Et désormais, avec les nouvelles techniques anti-fraude, il est possible non seulement de détecter les zones qui ont été transformées (apparition de croix rouges dans les pixels modifiés) mais aussi de revenir à l'image initiale [21].

1. 4. 3. 2. Photographie numérique.

Que la photographie soit numérique ou argentique, les principes restent les mêmes. En effet, la lumière vient frapper un récepteur photosensible, créant une image latente qui sera secondairement visualisée. La différence entre les 2 modes d'acquisition réside dans la nature de la surface photosensible : le capteur est à la photographie numérique ce que la pellicule est à l'argentique. Le capteur (CCD, CMOS, ...) est un circuit électronique photoélectrique qui va convertir le signal lumineux reçu (photons) en signal électrique (électrons) analogique, lui-même soumis à une conversion analogique-numérique, qui le transforme en données numériques. Pour résumer, l'image captée par l'objectif est codée en une suite logique de 0 et 1, correspondant à la numération binaire et donc stockable dans une mémoire [125].

Le filtre de Bayer (figure 6) décompose la lumière en ses composantes primaires (bleu, vert, rouge). La présence de deux filtres verts pour un rouge et un bleu est due au fait que l'œil humain est plus sensible à la couleur verte [125].

Une fois sauvegardées, les images peuvent être transférées sur un ordinateur pour les exploiter. Grâce aux logiciels de retouche d'image (*Photoshop®*, *Adobe systems Inc*, *San Jose, CA*), il est possible de retravailler les photos (couleurs, contraste, luminosité, texture, matière, netteté...), ainsi que de les insérer dans des documents, des présentations, des diaporamas, etc. Il est cependant préférable, pour la retouche d'image, d'enregistrer d'abord la photographie sous un format non destructif (TIFF ou RAW) conservant les détails, puis de réaliser une compression finale au format JPEG une fois les modifications d'image faites [127].

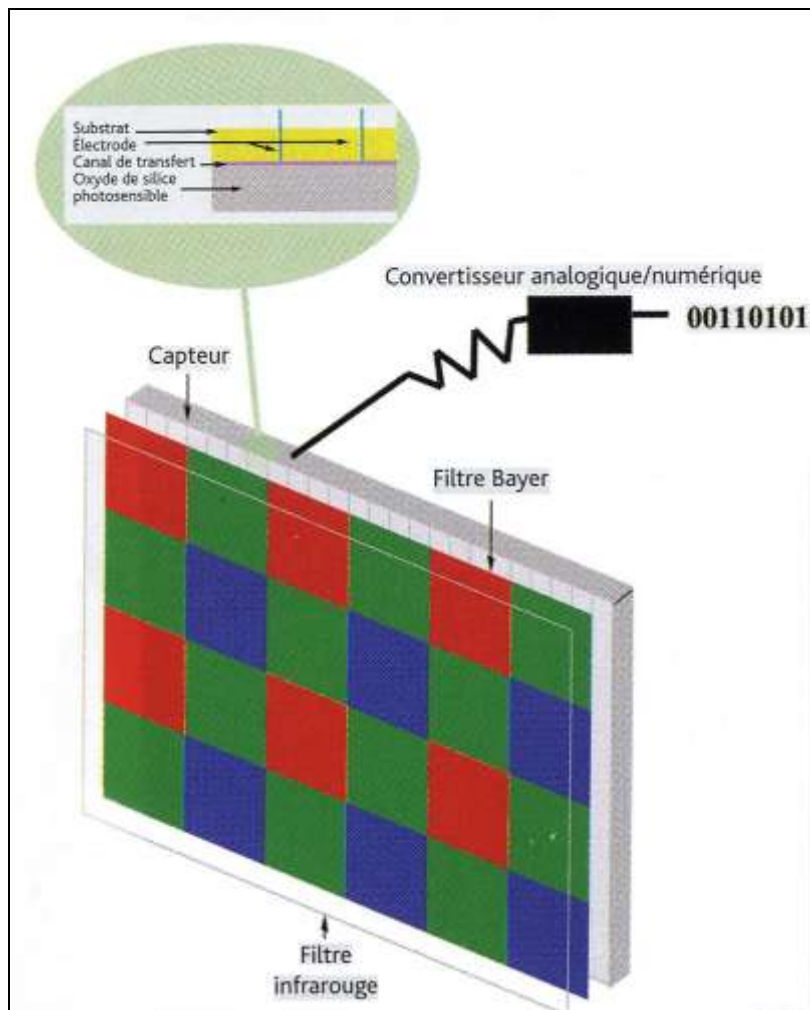


Fig. 6 : schématisation du capteur CCD.
La photographie numérique en odontologie © Editions CdP [125]

Les avantages de la photographie numérique sont donc nombreux : instantanéité du résultat, évaluation immédiate, visualisation sur différents supports, amélioration de l'image via des logiciels... [125].

En odontologie, la photographie numérique a toute sa place. Elle s'avère utile dans des domaines tels que l'éducation du patient, la prévention, la communication entre l'équipe médicale et le patient, le prothésiste, mais également dans l'optique de recueillir le maximum d'informations pour la tenue du dossier médical [126].

Le choix de l'appareil dépend de l'utilisation que l'on souhaite en faire : une résolution de 1600 x 1200 (nombre de pixels en hauteur x largeur) pour la visualisation des photographies à l'écran est largement suffisante. En revanche, pour l'impression des photographies, il faudra choisir des résolutions supérieures.

1. 4. 3. 3. Imagerie vidéo.

Là encore, il s'agit d'acquisition d'images sous forme numérique, à l'aide d'une caméra vidéo. Elles se composent pour l'essentiel d'une optique, d'un système d'éclairage intégré et d'un capteur CCD (couramment 1/4 de pouce). Ce dernier convertit la lumière incidente en un signal électrique, d'où l'image sera tirée [7].

La plupart des caméras intra-buccales proposées sont dérivées des endoscopes médicaux CCD [30]. Par conséquent, elles sont relativement peu encombrantes et permettent des prises de vue dans des champs restreints, tout en assurant l'éclairage par diodes électroluminescentes ou par lampe halogène. Généralement, la résolution courante des modèles proposés est de 800 x 600 (nombre de pixels en hauteur x largeur) ; pour la plupart, les modèles sont autofocus et le réglage de la lumière se fait automatiquement [7].

La discussion repose sur le choix entre les caméras vidéo analogiques et les caméras numériques. Si les caméras analogiques peuvent aussi bien être reliées à un écran plat qu'à un moniteur informatique/vidéo pour afficher l'image, les caméras numériques obligent à entrer dans les menus spécifiques d'imagerie de l'ordinateur pour le faire. Compte-tenu qu'une caméra endo-buccale doit être un outil instantanément disponible pour étayer les explications du praticien au patient, ou encore affiner un diagnostic, la solution vidéo semble mieux se prêter à la fonction [15].

Quoiqu'il en soit, leurs avantages sont nombreux [15, 123] :

- légèreté (pièces à main de 50 g environ pour la Sopro 595®, figure 7) ;
- maniabilité : la Vista Cam® de Dürr rétrécit sa tête pour un meilleur accès aux molaires ; la Sopro 617® est incurvée pour une accessibilité accrue ;
- agrandissement jusqu'à un facteur 100 permettant de voir les détails de 20 µm pour une approche endodontique (Vista Cam®) ;
- angle de visée allant jusqu'à 105° pour la Sopro 617® ;
- prises de vues extra-orales possibles (Sopro®, Dürr®...) ;
- aide au choix des teintes (Sopro 717®) ;
- aide au diagnostic et au traitement des tissus durs par la fluorescence (Soprolife®, figure 9). Le repérage des caries est rendu facile par le grossissement des vues (x30 à x100) et par une lumière, de longueur d'onde déterminée, émise par la caméra et appliquée sur la dent. Le signal ré-émis par la dent indique s'il y a rupture d'homogénéité ou non, autrement dit, s'il y a lésion carieuse ou non. En effet,

toute modification de la structure amélo-dentinaire de la dent se traduit par une modification de sa fluorescence naturelle. Suivant le même principe, Soprolife® peut aider le praticien en per-opératoire lors de l'excavation, en déterminant par la fluorescence si les tissus sont sains ou non (dentine infectée/affectée) [123].



Fig. 7 : caméra Sopro 595® [123]
http://www.sopro.fr/mainbase/download/sopro/sopro595/S595_01.jpg



Fig. 8 : caméra Sopro 717® avec aide au choix des teintes-concept *SoproShade* [123]
http://www.sopro.fr/mainbase/download/sopro/sopro717/S717_01.jpg



Fig. 9 : camera Soprolife® [123]
<http://www.sopro.fr/mainbase/download/sopro/soprolife/SOPROLIFE.jpg>



Fig. 10 : Soprolife® mode « Daylight » ou grossissement x30 à x100



Fig. 11 : Soprolife® mode «Aide au Diagnostic» ou valuation des lésions carieuses grâce aux variations de l'auto fluorescence.



Fig. 12 : Soprolife® mode « Aide au Traitement » ou détermination des tissus sains en per-opératoire.

Apparues en France il y a une quinzaine d'années, les caméras font désormais partie de la panoplie du Chirurgien Dentiste ; hier sur des chariots mobiles, elles s'intègrent aujourd'hui parfaitement dans l'environnement de travail (reliées à l'unit ou sans-fil). Actuellement, la majorité des caméras offrent 2 possibilités : elles peuvent s'utiliser indifféremment sur l'ordinateur du cabinet ou sur le moniteur vidéo d'une salle réservée à l'imagerie (radiologie, photographie et vidéo) [7].

Les principaux domaines d'exploitation de la vidéo sont l'éducation et la motivation du patient, la prévisualisation thérapeutique ou esthétique, la documentation de cas cliniques et, dans une moindre mesure, le diagnostic (fêlures, fissures...) [7, 30, 123].

1. 4. 3. 4. Chirurgie.

Les gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur (G.M.C.A.O.) sont aujourd'hui une réalité clinique : en implantologie orale, bien évidemment, et peut-être aussi bientôt dans d'autres domaines, tels que la chirurgie péri-apicale par exemple [108].

Ainsi, en implantologie orale, les techniques de G.M.C.A.O. permettent [34, 53, 58, 112] :

- une validation physique du plan de traitement,
- un report en bouche de certains paramètres du plan de traitement avec précision,
- un geste opératoire fiable, moins invasif,
- et la réalisation des prothèses transitoires avant la phase chirurgicale.

Globalement, les systèmes d'implantologie assistée par ordinateur sont composés d'un logiciel de planification du geste opératoire et d'un dispositif pour transférer ce geste sur le site opératoire. Selon l'autonomie laissée au chirurgien, on distingue 3 catégories de systèmes [53] :

- passifs (visualisation en direct de la progression de l'instrument dans l'image préopératoire),
- semi-actifs (le geste est contraint physiquement - faisceau laser, bras mécanique, gouttière chirurgicale - à suivre l'axe prédéfini),
- actifs (systèmes robotiques supervisés par le chirurgien).

2 exemples de protocoles de traitement implantaire intégrant l'imagerie médicale à un guide chirurgical : *Nobel Guide*® [34, 58, 112] et *CadImplant*® [53].

1. 4. 3. 4. 1 Le système *Nobel Guide*®.

Le système *Nobel Guide*® mis au point par la Société *Nobel Biocare*® est un logiciel de planification permettant de simplifier la pose d'implants. Le concept comporte 5 étapes :

- **Prothèse provisoire** : elle est d'une grande importance, car c'est à partir de cette prothèse provisoire, testée en bouche, modifiée, acceptée par le patient, que l'on validera le projet prothétique (guide radiologique, guide chirurgical et prothèse définitive) [58]. Le guide radiologique est réalisé à cette étape, par un duplicata en résine acrylique de la prothèse, avec ajout de matériaux radio-opaques qui serviront de repères - 6 à 8 points de référence [112].



Fig. 13 : maquette qui servira à la conception du guide radiologique NobelGuide® [58]

- **Index de positionnement occlusal** : le duplicata est placé en bouche et doit être parfaitement stable. Sa position par rapport aux antagonistes est enregistrée par un mordue occlusal. Le patient est alors prêt à effectuer l'examen scanner X [58, 112].



Fig. 14 : guide d'imagerie NobelGuide® et enregistrement des RIM [58]

- **Examen tomodensitométrique** : un premier examen se fait guide en bouche, stabilisé en bonne position grâce au mordue occlusal. Un second scanner est réalisé sur le guide radiologique seul, selon le même plan de référence [58, 112].

- **Planification** : les fichiers DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) de l'examen sont récupérés et traités par le chirurgien via le logiciel *Procera*®. La création d'un modèle en 3 dimensions du patient et du guide facilite la planification. Le praticien peut alors repositionner très précisément le guide par rapport aux structures osseuses et mettre en place virtuellement les implants et les clavettes d'ancrage, qui stabiliseront le guide chirurgical lors de l'opération. Après validation, toutes ces données sont transmises en Suède via Internet afin d'y confectionner le guide chirurgical par C.F.A.O. [58, 112].

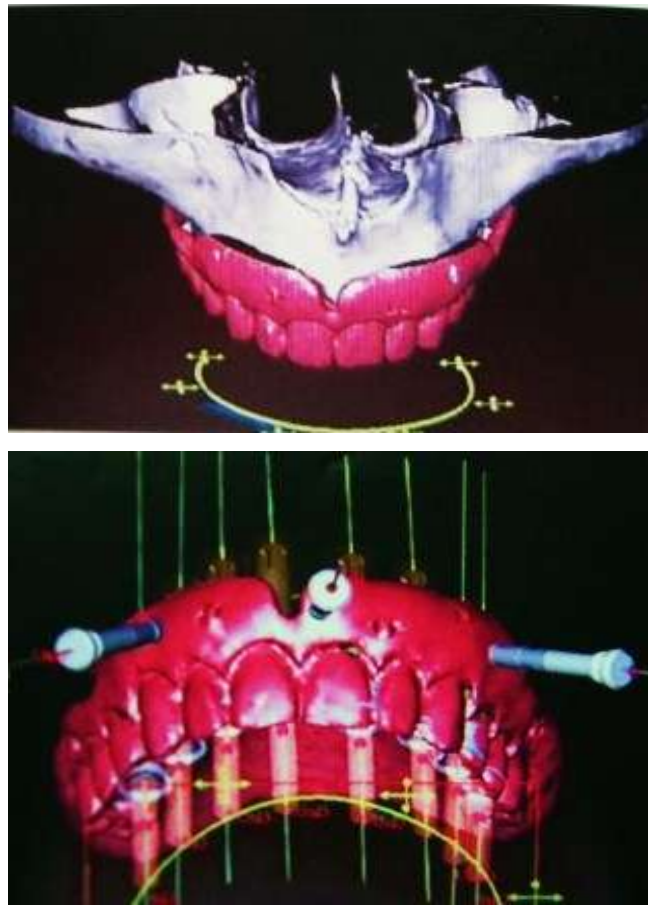


Fig. 15 : reconstitution numérique de la situation du guide NobelGuide® sur le maxillaire [58]

- **Guide chirurgical** : une fois fabriqué, il est réceptionné quelques jours plus tard par le praticien. Il permettra le forage et la mise en place des implants ; il servira aussi d'empreinte au prothésiste pour préparer le modèle de travail et la prothèse provisoire avant la phase chirurgicale [58, 112].

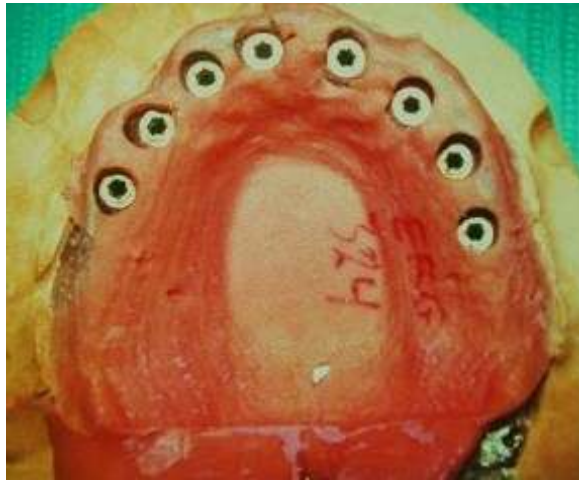


Fig. 16 : simulation du positionnement des implants avec NobelGuide® [58]



Fig. 17 : guide chirurgical NobelGuide® élaboré par CFAO [58]

Remarque : il est possible de faire réaliser la prothèse permanente en même temps que le guide chirurgical par la société Nobel Biocare (concept *Teeth-in-an-hour®*). Il suffit alors d'envoyer - en plus des données informatiques - le guide d'imagerie, le mordu d'occlusion, le modèle antagoniste et les futures dents prothétiques choisies. Le tout est ré- expédié au chirurgien, accompagné des éléments nécessaires à l'intervention : forets et piliers implantaires [34].

1. 4. 3. 4. 2. Le système **Cad-Implant®**.

Le système *Cad-Implant®* rejoint le protocole précédent dans ses grandes lignes mais présente cependant quelques différences [53] :

- **Prothèse provisoire** : elle est réalisée sur modèle et doit satisfaire aux contraintes biomécaniques, fonctionnelles et esthétiques ; testée en bouche, elle peut être modifiée jusqu'à obtenir le projet prothétique idéal à réaliser.
- **Guide radiologique** : il va permettre de reporter les caractéristiques du projet validé dans l'examen radiologique. Le guide radiologique est un duplicata de la prothèse, avec ajout de matériaux radio-opaques. Ce qui distingue la gouttière radiologique *Cad-Implant*® des autres, c'est l'adjonction d'un cube préfabriqué en résine, solidarisé à sa partie antérieure. Il contient 2 tubes en titane (ne produit pas d'artefact en tomodensitométrie) positionnés entre eux de manière à former un angle de 90° et à ne pas être concourants.

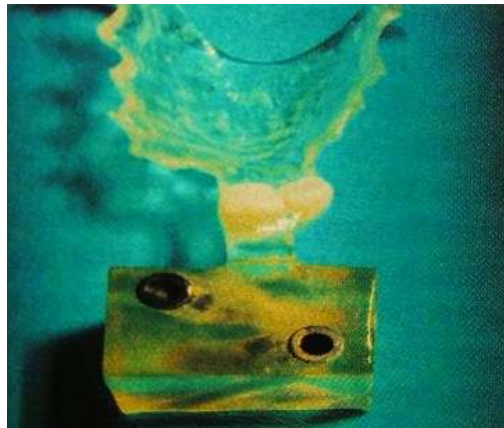


Fig. 18 : guide radiologique *Cad-Implant*® [53]

Ce cube est à l'extérieur de la bouche du patient et servira lors de l'étape du forage de la gouttière (cf. ci-après).

- **Examen tomodensitométrique** : la gouttière est placée en bouche, immobilisée par les dents résiduelles, de manière à obtenir une position reproductible lors de la chirurgie.

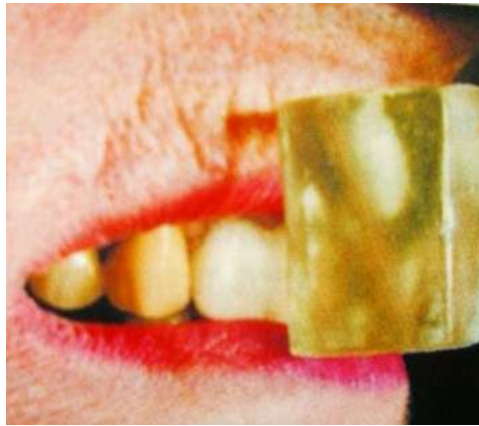


Fig. 19 : gouttière radiologique *Cad-Implant*® placée en bouche lors de l'examen tomodontométrique [53]

- **Planification** : le radiologue transmet les coupes au chirurgien sous forme de CD-ROM. Le praticien peut alors choisir les axes des implants sur le logiciel *Cad-Implant*® ; le positionnement tridimensionnel des fixtures dans les structures osseuses empêche toute approximation.



Fig. 20 : planification sur le logiciel *Cad-Implant*® [53]

- **Forage de la gouttière** : la planification étant terminée, les données du logiciel sont transférées à un système robotisé, afin de forer la gouttière radiologique. Cette dernière est fermement maintenue en place par le passage de 2 clavettes dans les tubes en titane du cube *Cad-Implant*®. Un bras robotisé vient percer la gouttière radiologique et le modèle en plâtre avec une précision de 0.2 mm en translation et 1.1° en rotation. Tout se passe comme si les coordonnées des axes des implants

étaient déterminées par rapport à ces tubes, à la fois sur le logiciel et pour le bras mécanique.



Fig. 21 : forage de la gouttière par le bras robotisé [53]

- **Guide chirurgical** : Si le projet prothétique est validé sur le modèle en plâtre, la gouttière radiologique est transformée en guide chirurgical par la suppression du cube préfabriqué. En outre, le modèle en plâtre foré peut servir de modèle guide prothétique au prothésiste : il réalisera ainsi avant la chirurgie les connexions prothétiques, les prothèses transitoires voire les prothèses d'usage.



Fig. 22 : modèle en plâtre et gouttière radiologique après forage [53]

Les systèmes d'implantologie assistée par ordinateur sont séduisants, de par leurs nombreux avantages [34, 53, 58, 112] :

- planification en fonction des structures osseuses et des futures prothèses,
- chirurgie peu invasive, donc peu de suites opératoires,
- indications élargies,
- prothèses préparées avant le temps chirurgical,
- durée du traitement considérablement diminuée.

Mais présentent tout de même des inconvénients :

- manque de recul clinique,
- apprentissage parfois long du protocole,
- erreurs lors de l'enregistrement de l'occlusion, instabilité, mauvais positionnement du guide radiologique ou chirurgical...

Certains suggèrent l'utilisation de ces techniques assistées par ordinateur en endodontie, pour la chirurgie péri-apicale [108]. En effet, les techniques chirurgicales traditionnelles se basent bien souvent sur des radiographies en 2 dimensions ; la localisation préopératoire de la portion apicale n'étant pas extrêmement précise, il arrive au praticien d'ajuster son geste lors de la chirurgie. Avec les techniques de G.M.C.A.O., la visualisation pré-chirurgicale de la lésion en 3 dimensions par tomодensitométrie, le couplage au logiciel *Cad-Implant*® et aux procédés de C.F.A.O. permettent une localisation précise de l'apex, un geste fiable, moins invasif et reproductible.

Ainsi, cette étude pré-clinique réalisée avec 5 praticiens devant chacun réaliser 11 ostéotomies sur modèle (avec et sans assistance informatique) a montré que les distances à l'apex étaient de 0.79 mm (\pm 0.33) en utilisant la technique de G.M.C.A.O., et de 2.27 mm (\pm 1.46) avec la technique manuelle classique. En outre, 88% des ostéotomies se trouvaient dans un rayon inférieur à 1 mm de l'apex avec l'assistance, alors qu'elles n'étaient plus que 20% sans assistance. Par conséquent, les risques d'endommager les obstacles anatomiques sont considérablement réduits. Ces résultats sont en cohérence avec ceux déjà obtenus en implantologie : précision sub-millimétrique, fiabilité des gestes, prédictibilité parfaite et moindre invasivité. D'autres études - cliniques cette fois-ci - devraient confirmer que cette nouvelle approche peut largement contribuer à l'amélioration de la chirurgie apicale [108].

Plus récemment, sont apparus des outils qui permettent au chirurgien de suivre en direct et en 3 dimensions, la progression de ses forets dans le tissu osseux, lors de

la pose des implants (*Robodent, IGI DenX Advanced Dental System, Pilot Surgery...*) [87]. Leur principe : celui de traqueurs optiques. En effet, des repères optiques sont placés sur l'arcade dentaire du patient et sur le contre-angle, afin de pouvoir suivre leurs mouvements respectifs par caméra lors de l'intervention. Cette dernière est reliée à un ordinateur qui va calculer et retranscrire en temps réel sur l'écran la position du foret dans les structures osseuses. Il est donc maintenant possible de coordonner l'imagerie issue du bilan pré-implantaire avec l'instrumentation rotative du chirurgien, qui peut ainsi guider en permanence l'axe, la profondeur de pénétration du foret sur le moniteur.

Issus de techniques déjà utilisées en neurochirurgie, chirurgie ORL ou CMF, ces systèmes permettent encore d'améliorer la précision et la prédictibilité du geste en implantologie. Et parfois même, d'éviter le recours au scanner, en le remplaçant par l'imagerie ultrasonore, couplée à une simple radiographie rétroalvéolaire (*Pilot Surgery*). Cependant, leur usage est encore réservé aux chirurgiens expérimentés, ceux qui, bien souvent, ont participé à l'élaboration des systèmes. Leur diffusion doit donc être élargie pour valider les procédures (nombre de cas plus importants, opérateurs différents, etc.) [87].

1. 4. 3. 5. Prothèse.

Cette application clinique sera spécifiquement traitée dans la partie 2.

1. 4. 3. 6. Orthodontie.

Cette application clinique sera spécifiquement traitée dans la partie 3.

En conclusion, nous pouvons facilement affirmer que la profession vit une révolution numérique : les outils issus de ces technologies ne sont plus réservés à des passionnés d'informatique. Ils sont en passe de devenir les auxiliaires indispensables au praticien pour gérer son activité.

Mais il est important aussi de s'interroger sur leur pertinence et sur les effets pervers et secondaires qu'ils peuvent apporter au sein du cabinet dentaire.

1. 5. Contraintes et désagréments de l'informatisation du cabinet dentaire.

1. 5. 1. Ethique et législation.

1. 5. 1. 1. La C.N.I.L.

La C.N.I.L. (ou Commission Nationale Informatique et Libertés) est une autorité administrative indépendante qui a pour rôle essentiel de protéger la vie privée et les libertés individuelles ou publiques. Elle est chargée de faire respecter la loi « *Informatique et libertés* » du 6 janvier 1978, qui définit les règles à respecter lors de la collecte, du traitement, de la conservation et de la transmission des informations nominatives [26]. Les missions qui lui sont confiées sont au nombre de 6 [32] :

- **Recenser les fichiers**, en enregistrant les demandes d'avis du secteur public et les déclarations du secteur privé, en tenant à jour et en mettant à disposition du public le « fichier des fichiers » ;
- **Contrôler**, en procédant à des vérifications sur place ;
- **Réglementer**, en établissant des normes simplifiées, afin que les traitements les plus courants et les moins dangereux pour les libertés fassent l'objet de formalités allégées ;
- **Garantir le droit d'accès**, en exerçant le droit d'accès indirect, en particulier au fichier des Renseignements Généraux ;
- **Instruire les plaintes**, en procédant le plus souvent à une concertation entre les parties en vue d'un règlement à l'amiable ;
- **Informar les personnes** de leurs droits et obligations, conseiller toutes les personnes qui le lui demandent, proposer au gouvernement les mesures législatives ou réglementaires utiles.

Le Chirurgien Dentiste possédant, par définition, des informations sur l'intimité des personnes, entre dans le cadre de cette loi à partir du moment où il décide d'informatiser la gestion de son cabinet. Tout traitement portant sur ces données doit faire l'objet d'une déclaration ou d'une demande d'autorisation auprès de la C.N.I.L.. La plupart des professionnels de santé libéraux peuvent faire une déclaration simplifiée pour les fichiers nécessaires à leur activité. Bien entendu, les informations recueillies ne peuvent être utilisées que pour faciliter le suivi médical du patient et ce, dans les conditions déterminées par la loi :

- elles ne peuvent en aucun cas faire l'objet d'une exploitation commerciale ;
- elles sont protégées par des obligations de sécurité et de confidentialité ;
- elles doivent être conservées 5 ans dans l'application, à compter de la dernière intervention ; au-delà de cette limite, les données sont archivées durant 15 ans sur un support distinct ;
- elles sont la propriété de la personne : droit d'information de l'informatisation de ces données, droit d'accès direct aux informations qui la concernent, droit de rectification des informations incomplètes ou inexactes.

Le non-respect de ces formalités par les responsables de traitements est pénalement sanctionné par l'article 226-16 de la loi « *Informatique et Libertés* » de 5 ans d'emprisonnement et 300 000 € d'amende [32].

1. 5. 1. 2. Dossier médical informatisé (D.M.I.).

Le dossier médical manuscrit laisse peu à peu place au dossier informatique au sein des cabinets dentaires. Tout l'intérêt des fichiers patients informatiques réside dans le fait qu'ils contiennent foule de renseignements - état civil, antécédents médicaux, schémas dentaires, diagnostics, prescriptions, comptes-rendus, radiographies numériques, imagerie, plans de traitement, devis... - et ce, en un minimum d'espace [22]. La compatibilité avec d'autres applications permet d'importer et d'y insérer textes et images numériques (radiographies, photographies, etc.), offrant ainsi la possibilité de dialoguer avec d'autres confrères à distance sur un même cas clinique [67].

En revanche, cette informatisation croissante pose le problème de la conservation des données. Si l'on considère que les délais de prescription sont respectivement de 3, 30 et 40 ans en matière pénale, civile et de pharmacovigilance et matério-

vigilance, il semble justifié de conserver les dossiers au moins 40 ans. Quant aux feuilles de soins électroniques transmises à l'Assurance Maladie, il faut conserver leur trace pendant 90 jours [90]. Cela vient donc contredire ce que stipule la C.N.I.L. à propos du traitement automatisé des données médicales [32]. En effet, exporter les dossiers des patients n'ayant pas consulté depuis plus de 5 ans nécessite d'avoir, non seulement, des logiciels d'archivage, mais aussi de « dé-archivage » au cas où ces mêmes patients venaient à re-consulter. De plus, comment relire des informations sur un logiciel autre que celui d'origine après plusieurs années ?

Le D.S.I.O. (Données Standards en Informatique Odontologique), protocole d'échange de fichiers informatiques actuel utilisé pour exporter et importer les données, a malheureusement des lacunes considérables : il ne prend en compte ni l'imagerie, ni la télétransmission. Pourtant, depuis la loi du 4 mars 2002 et le droit à l'accès au dossier médical, il serait grand temps que les éditeurs de logiciels intègrent une norme d'export-import commune. C'est actuellement l'un des sujets de travail de la Commission Informatique de l'ADF [22, 90].

Car l'avenir est à l'ouverture ; aujourd'hui fermée sur elle-même, l'informatique dentaire de demain sera communicante. Pour preuve : le Dossier Médical Personnel (D.M.P.) qui sera bientôt à la disposition de chacun des bénéficiaires de l'Assurance Maladie en France [13, 18].

Il s'agit du nom donné au futur dossier informatisé du patient. Il regroupera les informations concernant la santé de chaque individu : soins, traitements, comptes rendus, prescriptions... Ces données seront accessibles à chaque professionnel de santé (exceptés les médecins du travail et ceux des compagnies d'assurance et mutuelles), avec l'accord et la présence du patient, dans le respect du secret médical et de sa vie privée. L'accès au D.M.P. se fera par l'intermédiaire de la Carte Vitale 2 et du code connu par le patient lui-même. Toutefois, ce dernier peut décider des données qui seront ou ne seront pas consultables ; un avertissement informera alors le praticien qu'il n'a pas accès à toutes les informations, afin qu'il prenne les précautions nécessaires pour éviter toute complication (incompatibilité avec certains traitements, antécédents, affections, etc.). L'objectif du dossier informatisé est d'assurer une prise en charge coordonnée et la continuité des soins et d'éviter les actes redondants [13, 18].

Des expérimentations ont été conduites de juin à décembre 2006, permettant l'ouverture de 31 783 D.M.P.. 60% des professionnels de santé sondés recommandent son utilisation et 84% des patients en sont satisfaits [18].

1. 5. 1. 3. Création d'un site web.

Les sites médicaux rencontrent actuellement un franc succès, puisque près d'un internaute sur cinq est à la recherche d'informations de santé. Devant la demande croissante des patients et conformément au principe de liberté d'expression et d'information, le Conseil National de l'Ordre des Chirurgiens Dentistes (C.N.O.) a modifié sa *Charte Internet* de 2004, jusque là très restrictive, par la circulaire n° 1440 datée du 2 avril 2008. Il a ainsi décidé d' « *élargir les informations pouvant figurer sur les sites des praticiens* » [132]. Mais cette amélioration en matière de service rendu aux patients ne doit pas faire oublier les principes fondamentaux d'éthique et de déontologie professionnelles. Ainsi [100] :

- Le C.N.O. rappelle que la profession dentaire exclut toute pratique commerciale (article R. 4127-215 du Code de la Santé publique) et que, en conséquence, tout procédé publicitaire doit être banni du site ;
- Tout Chirurgien Dentiste, personne physique ou morale inscrite au Tableau de l'Ordre, peut posséder son site Internet ;
- L'adresse du site doit comprendre le nom du praticien ou de la S.C.P. ou de la S.E.L.A.R.L. Le libellé retenu ne doit ni comprendre un pseudonyme, ni faire croire à un exercice de la médecine. Exemples :

« dr-dupont-jean.chirurgiens-dentistes.fr »

« selarl-dénomination sociale.chirurgiens-dentistes.fr »

« scp-raison sociale.chirurgiens-dentistes.fr »

- Le Chirurgien Dentiste mentionne :
 - son numéro d'inscription au Tableau de l'Ordre,
 - l'adresse du cabinet et son numéro de téléphone
 - son adresse de courrier électronique,

- éventuellement, sa date de naissance, sa photo, sa spécialité (O.D.F. uniquement) et les titres reconnus par le C.N.O. (C.E.S., D.E.A., D.U., titres hospitalo-universitaires, expert agréé, etc.) [100].

Toute mention d'activités, fonctions, compétences ou titre non officiel est interdite, de même que faire figurer son *curriculum vitae*. En revanche, il est possible de mettre en ligne des informations médicales « *scientifiquement exactes, exhaustives, actualisées, fiables, pertinentes, licites, intelligibles, validées* » voire certifiées par la fondation *Health On the Net* (H.O.N.)² [63, 117].

- Le praticien précise s'il est conventionné ou non, s'il a droit au dépassement et s'il est membre d'une Association de gestion Agréée (A.G.A.). Les liens renvoyant au site du C.N.O. et à l'Annuaire des Chirurgiens Dentistes sont également présents ;
- Concernant la présentation du cabinet, les renseignements habituels - adresse, jours, heures de consultation, plan d'accès au cabinet, modalités en cas d'absence - peuvent figurer sur le site, ainsi que les membres de l'équipe, leur qualification et une visite virtuelle du cabinet.
- Enfin, le praticien doit déclarer auprès du Conseil Départemental de l'Ordre des Chirurgiens Dentistes la mise en ligne de son site et prendre connaissance des « *principes réglementaires et déontologiques applicables au Web dans le cadre de la chirurgie dentaire* ». Toute demande de modification du site de la part de l'Ordre devra être respectée [100].

Cette récente modification de la Charte Internet permet donc au dentiste d'avoir un site plus attractif qu'auparavant. Et le label H.O.N. garantit la fiabilité des informations publiées, concourant ainsi à aider les internautes à identifier les sites santé de qualité [63, 117]. Mais l'absence de description des compétences du praticien ou de ses activités enlève beaucoup d'intérêt au site en question. Le C.N.O. avance comme argument les risques de l'« auto-proclamation », qui ne garantit en rien les

² Cette fondation a été accréditée par la Haute Autorité de Santé (HAS) pour certifier les sites français de santé. La certification repose sur les 8 principes suivants : 1) qualification des auteurs des articles, 2) origine des sources et datation de l'information, 3) justification des positions prises, 4) complémentarité avec la relation praticien-patient, 5) confidentialité des informations personnelles recueillies, 6) informations sur l'éditeur du site, 7) informations sur le financement du site, et 8) transparence de la politique éditoriale et publicitaire. Cette certification HON est délivrée pour une période d'un an avec réévaluation annuelle systématique du site par Health On the Net.

capacités du praticien. Pourtant, en novembre 2007, le Conseil Européen des Chirurgiens Dentistes a précisé qu'« *une description des soins ne peut pas être comparative* ». Paradoxalement, elle est donc autorisée au niveau européen, mais interdite en France... [132].

1. 5. 2. Sécurité.

On l'aura donc compris : l'« informatique odontologique » offre de belles perspectives d'avenir, mais il est indispensable d'établir de nouvelles règles pour sécuriser les données numérisées et leur circulation.

1. 5. 2. 1. Sécurité des données (pérennité, virus, piratage).

Fin 2005, 1 685 nouveaux virus ont été identifiés, portant leur recensement à 112 142. Il en existe de multiples sortes, tous plus ou moins dangereux pour la sécurité des données, provoquant pertes et désordres. Ces virus sont des programmes conçus pour assurer leur multiplication automatique et utiliser l'ensemble des médias et des capacités de stockage comme vecteur de transmission. Leur action peut être différée ou ponctuelle. Ils s'attaquent alors à la partie logicielle, de façon plus ou moins destructrice [5]. C'est pourquoi il faut se prémunir contre ces attaques virales en prenant quelques précautions simples [5, 26] :

- contrôle de l'accès au système informatique (mot de passe) ;
- surveillance de l'origine des unités de stockage : tester systématiquement tout support (CD, DVD, disque dur ou disquette) avant d'en utiliser le contenu ;
- mettre fréquemment son système d'exploitation à jour. Les correctifs pallient souvent les failles de sécurité du système ;
- méfiance vis-à-vis d'Internet (y accéder par un ordinateur indépendant) ; ne pas confondre ordinateur personnel et professionnel ;
- utilisation de logiciels anti-virus à jour ; vérifier leur activation et leur mise à jour plusieurs fois dans la journée ;
- sauvegardes systématiques.

En outre, la pérennité des données peut aussi être mise en jeu par les simples caprices de l'alimentation électrique. Microcoupures, surtensions, coupures momentanées de l'alimentation... font perdre l'information qui était en train d'être

traitée et oblige l'opérateur à redémarrer l'ordinateur. Si le problème se répète et que, malgré tout, l'installation du local professionnel est correcte, il est nécessaire de procéder au contrôle de la qualité du courant électrique (normalement 220 V, avec tolérance de $\pm 10\%$). Il existe, par ailleurs, les onduleurs ; ces dispositifs maintiennent à un niveau constant l'alimentation et prennent le relais pendant quelques minutes en cas de coupure. Ces boîtiers, qui se placent entre la prise de courant et l'ordinateur, sont fortement recommandés dans les configurations en réseau avec serveur de fichiers [26].

1. 5. 2. 2. Vols et autres sinistres matériels.

Le coût du sinistre informatique est évalué à 7 millions € en moyenne dans les entreprises françaises. Le vol arrive en tête, suivi par les incendies, la foudre, les dégâts des eaux et les dommages électriques (voir figure 23). Comme pour toute entreprise, la vie du cabinet dentaire est largement tributaire de la bonne santé du système informatique. Même s'ils sont rares, ces incidents peuvent avoir des conséquences importantes. Il est donc recommandé d'assurer tout appareil informatique par le biais de contrats spécifiques ou par extension de contrats déjà existants. Concernant le vol, c'est évidemment le matériel informatique portable qui en est le plus victime. Il est donc préférable d'opter pour des solutions fixes. Mais il est toutefois important de rappeler que ces dommages accidentels (garantie classique « tous risques » informatique , incendie / vol / dégâts des eaux / bris / vandalisme) ne représentent plus qu'un quart des sinistres. Les sinistres les plus nombreux et les plus coûteux sont désormais les dommages d'origine immatérielle (atteintes aux données, aux applications et flux de données). Ces actes de malveillance sont, par ordre d'importance, faits par :

- le personnel ;
- les prestataires ;
- les concurrents ;
- les hackers.

Ils restent heureusement rares en cabinet [5].

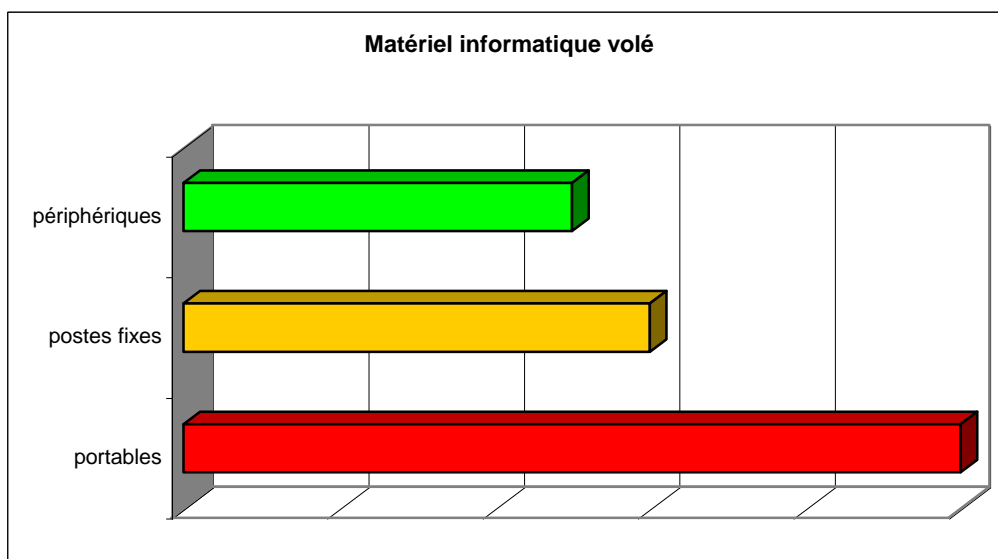


Fig. 23 a.



Fig. 23 b.

Fig. 23 a et b : statistiques sur les vols du matériel informatique (d'après [26])

1. 5. 2. 3. Asepsie.

Le matériel informatique utilisé au cabinet est évidemment soumis aux agressions habituelles : poussières, projections diverses dues à l'aérosol de la turbine... Il

nécessite donc un entretien rigoureux pour diminuer le risque d'infection croisée. Préalablement, il faut veiller à éteindre l'alimentation électrique des appareils [26].

Les écrans plats, fragiles, seront nettoyés avec délicatesse : un chiffon doux suffit pour les dépoussiérer, d'autant qu'ils possèdent un pouvoir antistatique. Le problème est plus grand pour les claviers. En contact avec les doigts, ils sont donc, avec la souris, les plus vecteurs de microbes. Ils ont une tendance prononcée à retenir les débris entre leurs touches, et la porosité du plastique fait, qu'à long terme, les touches se noircissent. Pour éviter cela, il faut régulièrement passer de l'air comprimé (bombes d'air pressurisé du commerce ou nos soufflettes) entre les touches et utiliser un produit vitrifiant à base de silicone pour protéger le revêtement [26].

L'unité centrale est sujette aux accumulations de poussières piégées dans les grilles de ventilation. Le mieux est donc d'insuffler de l'air et d'aspirer, voire d'ouvrir la carrosserie. Pour finir, la souris sera nettoyée après chaque patient (lingettes de décontamination), car il n'est pas rare de l'utiliser en cours de soin avec des gants ayant été en bouche... ce qui devrait être proscrit. Le nettoyage de la bille de rotation, véritable ramasse-miette, n'est plus d'actualité depuis que les souris optiques ont envahi le marché. Les autres périphériques seront nettoyés avec les produits pré-cités [26].

A défaut de supprimer tous ces matériels, les constructeurs tentent d'en améliorer l'utilisation et rivalisent d'idées pour offrir aux praticiens des solutions qui, non seulement, simplifient le dialogue avec l'ordinateur, mais aussi respectent l'hygiène au cabinet [4]. Ainsi, sont proposés des claviers lisses en verre trempé (Tactys®), ou éclairés de bleu (KaVo) : l'éclairage matérialise les lettres de clavier, qui ne sont pas actives. Une petite caméra placée sur le bras de l'unit filme le mouvement des doigts sur le clavier et commande à distance le clavier de l'ordinateur resté sur le bureau [4].



Fig. 24 : clavier lisse en verre trempé Tactys® T907
(<http://www.tactys.com/images/new0970.jpg>)



Fig. 25 : clavier lumineux KaVo® [4]

Moins performantes, il existe aussi des feuilles plastifiées adhésives (Clavier *Sensitive Object*), à coller sur un support : le choc de la frappe est transmis à l'ordinateur via deux capteurs placés sous le plan de travail. [4]

Avec ces systèmes, on comprend que la désinfection est facilitée et que le risque de contamination croisée est diminué. Néanmoins, aucune réponse n'a encore été apportée quant à la souris et sa désinfection, si ce n'est les techniques de reconnaissance vocale encore à l'étude (le praticien dicte ses observations cliniques à distance, sans pour autant solliciter l'assistante dentaire) [3, 11, 130].

La question se pose également pour les périphériques d'imagerie - caméra intra-orale, capteur RVG® - qui, du fait de leurs composants, ne peuvent pas être stérilisés. Certes, la mise en place d'une « gaine » amovible à usage unique empêche la contamination ; ainsi, un doigtier en caoutchouc placé sur un capteur RVG® évite le contact direct avec la cavité buccale et ne changera en rien la qualité de la radiographie [26]. Mais, le problème est différent pour les caméras endo-buccales : le recouvrement de la surface de l'objectif par un film plastique n'améliore en rien la qualité de l'image (interposition d'air entre le film plastique et la surface de l'objectif). Heureusement, les fabricants s'orientent vers des systèmes étanches qui supportent la décontamination à froid par immersion ou lingette [7].

1. 5. 3. Ergonomie.

L'ergonomie est la « recherche d'une meilleure adaptation entre une fonction, un matériel et son utilisateur » (*Le Petit Larousse*, 2008). Nous avons vu que l'informatique a progressivement envahi les cabinets dentaires, de la radiographie aux outils de communication, en passant par les fauteuils et units. Il s'agit donc de déterminer quelle est la meilleure façon d'intégrer le matériel informatique au sein du cabinet. Certes, le numérique professionnel simplifie et améliore le quotidien du Chirurgien Dentiste. Mais lorsque les périphériques viennent se surajouter à des équipements préexistants, l'effet inverse peut se produire... Se pose alors le problème suivant : ces dispositifs sont-ils tous conçus pour s'intégrer idéalement dans nos structures de soins ? [4]

1. 5. 3. 1. Poste de travail.

Bien souvent, le matériel informatique est situé sur le plan de travail de la salle de soins. C'est une erreur, car les plans de travail, plus hauts que les meubles de bureau, sont inadaptés. S'il n'existe pas de zone spécifique pour disposer le matériel informatique, il faudra songer aux postes mobiles, ergonomiques et maniables [26]. En outre, de nombreux fabricants proposent aujourd'hui des fauteuils équipés d'un écran. Placé en hauteur, il permet d'afficher les données du logiciel de gestion, les radiographies ou les images intra-buccales du patient. L'écran possède un réel intérêt ergonomique pour le praticien, à condition que la consultation des données cliniques et radiographiques s'effectue d'un simple coup d'œil au cours du soin, sans avoir à lever ou à tourner la tête de manière anormale. Il faut aussi veiller à placer le terminal dans une position qui n'interfère pas avec les autres équipements, tels que scialytiques, bras du générateur radio, cordons de l'unit ou encore avec les déplacements de l'assistante. Il est donc important de prévoir un endroit suffisamment spacieux pour ne pas interférer avec les zones stratégiques de soins, tout en étant accessible à tous [4].

1. 5. 3. 2. Quels écrans ? Quels claviers ?

Les écrans cathodiques ont laissé place aux écrans plats, économes en espace et ergonomiques, à condition qu'on les positionne suffisamment bas, pour que la droite « centre de l'écran - œil de l'opérateur » soit oblique vers le bas (angle avec l'horizontale $>15^\circ$) [59]. De même, il faut veiller à respecter une distance œil-écran

d'environ 70 cm et à placer l'écran ni face à une fenêtre, ni dos à celle-ci (reflets et contre-jour). On choisira aussi des écrans LCD, qui apporte un confort incontestable au niveau visuel, par rapport à leurs prédécesseurs [26]. En revanche, pas de révolution au niveau des claviers et souris. Si certains logiciels (*Visiodent*) peuvent être pilotés par écran tactile, à partir d'icônes ou de fenêtres préétablies, les fonctions restent restreintes [4].

Clavier et souris s'avèrent donc toujours indispensables. Les tâches informatiques devenant de plus en plus nombreuses, le praticien doit respecter quelques critères stricts d'ergonomie. Par exemple, éviter de mettre les poignets en extension lors de la frappe, position à l'origine d'un accroissement de la pression intra-canaulaire (syndrome du canal carpien) et préférer une position horizontale voire légèrement décline des avant-bras [59] ; choisir un clavier lourd, stable et plat, de couleur claire et neutre pour ne pas contraster avec la luminosité de l'écran ; enfin, opter pour un clavier avec pavé numérique. Concernant la souris, elle est certes petite, mais elle nécessite un espace d'environ 25x20 cm pour être facilement déplacée sur tout l'écran. Son utilisation peut générer des douleurs de l'index, du pouce voire même une fatigue de l'épaule, si elle est trop éloignée de l'opérateur [26]. Une alternative sérieuse au duo clavier-souris : les techniques de reconnaissance vocale, qui permettent ainsi au Chirurgien Dentiste de dicter ses observations cliniques à distance, sans pour autant solliciter l'assistante dentaire. Elles sont actuellement en plein développement aux Etats-Unis [3, 130]. A suivre...

1. 5. 3. 3. Fils et pédales.

Ils sont la conséquence de la multiplication des périphériques. Le problème a été résolu pour les claviers et souris sans fil, mais pas encore pour la radiologie numérique ; le peu d'offre rend les capteurs *cordless* onéreux, et bien souvent, ils nécessitent une interface supplémentaire. Il en est de même pour les pédales de commande de périphériques (caméras intra-buccales, radiologie numérique...) qui encombrant l'espace de travail et rendent les mouvements du praticien et du personnel difficiles [4].

Il faut donc privilégier les dispositifs sans fil et sans pédale, ou alors intégrés avec celle du fauteuil. Pour les câbles inhérents à l'exercice en réseau, des plinthes creuses ou des goulottes en polyéthylène viennent les cacher tout en s'intégrant dans le décor et permettant la maintenance (accès facile) [12, 23].

1. 5. 3. 4. Unités centrales.

Elles peuvent servir de surélévation du moniteur, plaçant ainsi l'écran à bonne hauteur ; pour les formes *tower* verticales, elles sont placées sous le meuble, à condition que celui-là soit aéré et permette le passage des câbles [26].

1. 5. 3. 5. Lecteurs de cartes à puces.

Lecteurs de carte Vitale, CPS et bancaire viennent se rajouter à tous les éléments cités ci-dessus [4]. Des nouveaux claviers intègrent désormais des lecteurs bi-fente de cartes Vitale et CPS ; pour le terminal bancaire, il faut choisir un modèle sans-fil, qui peut être tendu au patient sans contrainte liée au fil et utilisable par plusieurs praticiens [26].

1. 5. 3. 6. Imprimantes.

Aujourd'hui, elles sont pratiquement toutes multi-fonctions (impression et scanner-photocopieur). Elles seront placées à proximité de l'ordinateur pour gérer l'édition des feuilles de soins, courriers et ordonnances [26].

Certes, les innovations techniques ont indéniablement amélioré l'exercice du Chirurgien Dentiste ; mais ces nouveaux dispositifs doivent aussi savoir répondre aux préoccupations ergonomiques des praticiens (discrétion des équipements, facilité d'intégration, confort, hygiène, etc.). Voilà le nouveau challenge des fabricants.

2. APPORT DE L'ASSISTANCE INFORMATIQUE EN PROTHESE.

2. 1. Introduction.

On l'a compris : c'est désormais toute l'odontologie qui est assistée par ordinateur. Education en ligne, programmes interactifs, dossiers médicaux mais aussi chirurgie, orthodontie et prothèse... Le développement de l'informatique a et aura des conséquences importantes sur les pratiques professionnelles.

A ce titre, l'assistance informatique en prothèse est un exemple. D'une part, parce que la prothèse a été la première discipline à importer la technologie C.F.A.O. en odontologie (capture d'image, traitement informatique, puis exploitation automatisée), pourtant initialement réservée à l'industrie [47, 131]. D'autre part, parce qu'elle a su transformer l'essai et exporter la C.F.A.O. à la chirurgie et l'orthodontie.

Cette partie développe donc les grands principes de cette technique - acquisition, conception, fabrication - qui a largement révolutionné la chirurgie dentaire.

2. 2. Aide au diagnostic et au plan de traitement.

2. 2. 1. Aide à la formation.

Diagnostic juste, choix thérapeutique le meilleur, bon pronostic, tels sont les objectifs quotidiens du praticien. La formation initiale et, *a fortiori*, la formation continue doivent lui permettre d'atteindre ce but [20]. Mais cette dernière, qui est obligatoire depuis 2004, n'est pas toujours facile à mettre en France. L'enseignement via les NTIC, en permettant de se former chez soi, apporte une alternative [11]. L'offre commence d'ailleurs à être conséquente et les formules d'enseignement ont tendance à se multiplier... Quels en sont les supports ?

2. 2. 1. 1. Formation du praticien *off-line*.

On appelle formation *off-line* la formation qui se fait via des supports de type CD et surtout DVD-ROM, issus d'institutions de formation ou de revues professionnelles. Dotés d'une grande capacité, ils intègrent aussi bien l'image que le son, le texte, la vidéo, les représentations 3D [22, 28]... Leur atout majeur est l'interactivité : l'apprenant décide du moment et de l'heure de sa formation ainsi que de son

déplacement à partir du menu, dans l'arborescence. Cependant, ces supports tendent à disparaître au profit du téléchargement (ou *dé-matérialisation*), phénomène qui s'observe déjà dans l'industrie du disque [28].

2. 2. 1. 2. Formation du praticien *on-line* (sites professionnels).

Il s'agit cette fois-ci de la formation en ligne, qui permet de communiquer avec les grandes institutions de l'odontologie à l'échelon international, les sites des revues professionnelles ou encore les universités dites virtuelles. Indéniablement, le Net est un facteur de formation important et pratique : là encore, on peut se connecter et avoir accès à la connaissance à tout moment [28]. C'est un réservoir immense, un océan d'informations continuellement alimenté et mis à jour à l'échelle de la planète. On assiste donc à une libération du mode d'accès au savoir, en terme de lieu et de temps, qui amène à repenser les démarches habituelles. Et même si certaines résistances existent du fait de l'hétérogénéité du contenu (« on y trouve tout et n'importe quoi »...), le mouvement est irréversible [20, 22].

Avant toute chose, il faut s'assurer que l'organisme de formation est détenteur d'un agrément délivré par le conseil national de la formation continue odontologique. De plus, la formation suivie doit ouvrir le droit à des crédits de formation continue obligatoire. Enfin, il faut savoir que les formations à distance ne pourront compter que pour 20 crédits par an (sur un total de 800 sur 5 ans) [40, 116].

Car ne l'oublions pas : la formation classique *in situ* reste privilégiée. DVD et Internet ne sont que des outils supplémentaires qui ne doivent pas recaler les conférences et autres travaux pratiques à l'arrière plan. Ceux-là ont encore de beaux jours devant eux ; la communication humaine l'emportera toujours dans le domaine de l'interactivité [28].

2. 2. 1. 3. Bibliographie.

Articles, synthèses méthodiques, conférences de consensus, guides de pratiques cliniques sont désormais disponibles sur le Web ; la quantité de documentation biomédicale accessible via Internet est gigantesque mais la qualité extrêmement hétérogène [20, 22]. La recherche de l'information juste et précise passe donc par un certain savoir-faire du tri. Les documentalistes conseillent d'utiliser des méthodes fondées sur des principes simples : si la source documentaire n'est pas fiable, il vaut

mieux ne pas l'utiliser ; seules les synthèses conçues avec une méthode explicite, intégrant l'ensemble des données disponibles, comparatives et actualisées, constituent des référentiels adaptés pour guider la pratique. Les recherches effectuées au hasard des banques de données ou des moteurs de recherche (*Google, Lycos, Voilà...*) n'offrent pas la garantie d'une information fiable. Dans le doute, mieux vaut se tourner vers des spécialistes de la documentation (rédacteurs, documentalistes, etc.) pour distinguer les données purement scientifiques de celles de vulgarisation [20].

Il est important de souligner que les ressources du Web s'adressent aussi bien aux praticiens, chercheurs, étudiants, qu'aux patients. Ce qui signifie que, si les praticiens accèdent à des sites plus que généralistes sur la santé, les patients peuvent aussi obtenir les mêmes informations médicales que les professionnels de santé [22]. Ainsi, en 1998, lorsque *Medline* (banque de données bibliographiques des publications médicales) a ouvert son site au grand public, le nombre de visites sur le site est passé de 7 millions à 120 millions en une année. Par conséquent, les rapports au cabinet se transforment profondément : le patient docile et passif devient curieux, autonome et surtout client-consommateur. Pour le meilleur (patient acteur de sa propre santé) et pour le pire (refus de certains traitements, demandes inconsidérées). Tout l'enjeu des années à venir est de faire d'Internet une chance pour les patients et non un sujet de conflit entre les praticiens et eux [20].

2. 2. 2. Aide à la décision et au plan de traitement.

Comme nous l'avons vu précédemment, Internet est devenu une aide au développement professionnel à part entière, à savoir qu'il contribue désormais au savoir formel et informel du praticien durant sa carrière [20]. Ainsi, ses décisions thérapeutiques peuvent être facilitées par la communication entre confrères proches via mail, ou le recours à des collègues-spécialistes plus éloignés (forums, cours, visioconférences), ou encore la lecture d'articles, de rapports... en ligne. Il n'y a évidemment rien de nouveau dans le fait de consulter ses pairs avant de prendre une décision thérapeutique ; mais en faisant disparaître les distances, en accélérant la vitesse de circulation des informations et en mobilisant de nombreux réseaux

humains, Internet révolutionne et facilite grandement les échanges et l'accès au savoir [20, 22, 28, 40].

Parallèlement à Internet, on trouve aussi les logiciels experts, outils d'aide clinique en prothèse, implantologie ou orthodontie (voir partie 3, « *Apport de l'informatique en orthodontie* »).

2. 2. 2. 1. Système expert d'aide au tracé de châssis (*Stelligraph*® de Jourda).

Ce système est né du souhait de concilier les notions fondamentales de la prothèse amovible partielle avec les possibilités de la conception assistée par ordinateur (C.A.O.). L'invention a d'abord été mise au point sur mini-ordinateur avec la collaboration de F. Duret, puis sur micro-ordinateur au tout début des années 90 en France. Au fil des années, le système expert a su évoluer puisque non seulement sont considérées la prothèse partielle amovible, fixée, composite, mais aussi les attachements, fraisages et implants [124].

Le logiciel *Stelligraph*® peut répondre à tous les cas d'édentations de 2 à 12 dents, en donnant une réponse individuelle pour chaque cas à traiter : il s'agit donc bien d'un « système expert », et non d'un catalogue [73].

2. 2. 2. 1. 1. Présentation.

Ce logiciel permet au praticien de mettre à jour ses connaissances individuelles en matière de prothèse amovible partielle et d'être guidé dans l'élaboration de son plan de traitement. Ce dernier une fois établi, il permet de l'expliciter au patient (comparaison des solutions prothétiques, nécessités thérapeutiques induites, devis...). *Stelligraph*® devient ainsi un outil de dialogue praticien-patient, mais aussi praticien-prothésiste, puisque l'édition du tracé offre un document clair et précis au laboratoire [73].

2. 2. 2. 1. 2. Concepts prothétiques proposés.

Ils sont les suivants :

- Concept du châssis classique ou châssis semi-rigide, auquel se rattachent Mac Cracken (Etats-Unis) et J. N. Nally (Suisse) ;
- Concept bio-fonctionnel, avec le châssis à selle amortie (meilleure répartition des charges, respect des dents piliers) ;

- Concept du châssis mixte, qui est un compromis entre les diverses propositions thérapeutiques fonctionnelles.

Ces trois concepts sont dits « automatisés », parce que c'est le logiciel seul qui propose un tracé adapté aux particularités individuelles du patient. Il existe aussi une méthode de tracé « non automatisée », pour laquelle le Chirurgien Dentiste est libre de concevoir son tracé, selon ses concepts personnels [73].

2. 2. 2. 1. 3. Utilisation.

Pour chaque nouveau patient apparaît à l'écran la ou les arcades considérée(s). Une arcade contenant 16 dents, il suffit au praticien de supprimer celles qui sont absentes. Puis l'opérateur indique les informations telles que orientation, version des piliers, éléments fixés, indices parodontaux des dents piliers... [73]

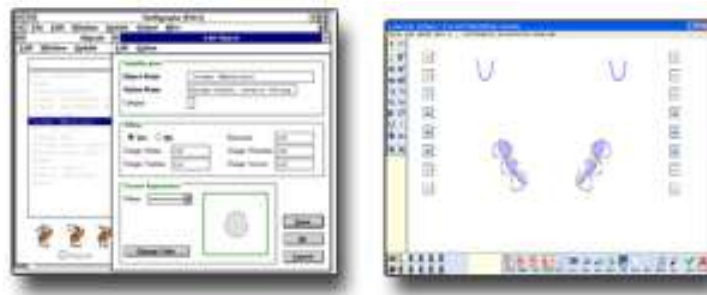


Fig. 26 : saisie des paramètres du patient avec Stelligraph® [124]

Une fois le concept prothétique choisi, le tracé est obtenu ; il est aussi possible de faire la comparaison entre les 3 concepts disponibles [73].



Fig. 27 : obtention des tracés avec Stelligraph®[124]

Lors de l'utilisation du programme « non automatisé », le praticien construit lui-même son tracé de châssis à l'aide des outils (crochets, appuis, barres cingulaires,

couronnes, fraisages, attachement, implant, etc.) et selon son concept personnel [73].

Remarque : l'utilisation du programme « automatisé » n'interdit pas l'interactivité. En effet, l'opérateur peut modifier et/ou enlever certains éléments imposés par le logiciel, mais dans la limite des possibilités. Toute utilisation erronée sera empêchée ; il n'y a pas de risque de fausse manœuvre, et les principes fondamentaux du concept sélectionné sont conservés [73].

Enfin, *Stelligraph®* offre la possibilité au Chirurgien Dentiste d'éditer les devis correspondant aux tracés, d'archiver le document dans un fichier - patient et de fournir un tracé clair et précis au technicien de laboratoire. Les obligations légales du dossier prothétique - tracés conçus par le praticien, présentation des solutions au patient, devis comparatifs, consentement éclairé, traçabilité...- sont parfaitement respectées [74].

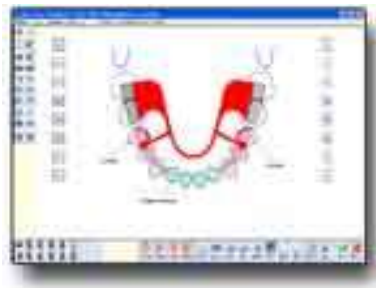


Fig. 28 : tracé définitif avec Stelligraph [124]

2. 2. 2. 1. 4. Applications.

- Pour le Chirurgien Dentiste (aide à la décision prothétique, respect des obligations légales, communication avec le laboratoire et le patient) ;
- Pour le prothésiste (dialogue avec le Chirurgien Dentiste, organisation et qualité du travail) ;
- Pour les universités (aide à l'enseignement, favoriser le traitement global du patient) ;
- Pour la formation continue (enseignement de différents concepts prothétiques, auto-évaluation) [124].

En conclusion, le système expert d'aide au tracé de châssis mis au point par Jourda apporte au praticien une aide clinique non négligeable. Une arcade de 16 dents

représente 65 536 possibilités d'édentations avec, pour chaque édentation définie, plusieurs tracés possibles [73]. *Stelligraph®* répond au problème de manière instantanée, évitant ainsi les analogies entre cas bien souvent hasardeuses. Malheureusement, ce logiciel ne semble pas obtenir le succès escompté : conséquence du fait que seulement 3 à 5% des Chirurgiens Dentistes fournissent leur tracé de châssis au prothésiste [74] ? La tendance pourrait bien s'inverser puisqu'un récent partenariat avec *Julie Owandy®*, premier éditeur français de logiciels de gestion et d'imagerie, offre la possibilité à *Stelligraph®* d'être proposé avec le logiciel de gestion [124].

2. 2. 2. 2. Validation du plan de traitement.

Aujourd'hui, le praticien peut valider ses choix thérapeutiques à l'aide de logiciels experts, comme vu précédemment pour les prescriptions médicamenteuses, ou pour le tracé d'un châssis. Il peut aussi le faire virtuellement sur image tridimensionnelle du patient, en tenant compte à la fois des contraintes anatomiques, prothétiques, esthétiques... Il ne s'agit pas des simulations présentées au patient pour anticiper un résultat final, mais de véritables outils d'analyse qui vont permettre au praticien de confirmer ou infirmer ses projets prothétiques [34, 53, 58, 112].

Ainsi, le concept *Nobel Guide®* propose une reconstruction tridimensionnelle de haute définition du guide d'imagerie et du patient à partir du scanner d'acquisition. Les Fichiers DICOM fournis par le radiologue sont convertis par le logiciel *Procera Software®* (*Clinical Premium* ou *Clinical Pro*), qui offre une visualisation simultanée de l'os et du guide radiologique. Le praticien commence alors la pose virtuelle des implants en choisissant les coupes coronales nécessaires. Le type et les dimensions des implants sont choisis dans le catalogue du logiciel. Après la pose virtuelle des implants, le guide radiologique devient guide chirurgical sur l'écran : à chaque emplacement d'implant correspond une gaine métallique pour le forage. Le chirurgien peut aussi décider d'y ajouter des clavettes d'ancrage. Un contrôle du positionnement des implants et des clavettes est alors fait à cette étape : position, orientation, proximité, parallélisme, profondeur des éléments, densité osseuse, risque de fenestrations... sont vérifiés en 3D sous tous les angles de vue. C'est à ce moment que, selon les difficultés rencontrées lors de la planification, le projet prothétique sera validé ou abandonné par le praticien. La possibilité qu'offre ce

logiciel spécialisé d'associer la future prothèse aux structures osseuses du patient sur images tridimensionnelles augmente la prédictibilité du traitement. Ici, les impératifs prothétiques sont au cœur des préoccupations ; ce sont eux qui commandent le positionnement implantaire et non plus seulement le volume osseux [34, 112].

Le protocole *Cad-Implant®* permet aussi de simuler le succès ou l'échec du traitement envisagé par le praticien ; non plus virtuellement sur écran, mais physiquement sur modèle en plâtre. En effet, lorsque la planification est terminée sur le logiciel *Cad-Implant®*, les données informatiques sont transférées à un bras robotisé muni d'une perceuse qui va forer simultanément le guide radiologique (qui devient alors guide chirurgical) et le modèle en plâtre. Ce dernier constitue donc une validation physique du plan de traitement, puisque les trous de forage sont les axes et les points d'émergence des futurs implants en bouche. A ce moment précis, le chirurgien peut valider définitivement son projet ou revenir sur la planification. [53]

En conclusion, les logiciels de planification implantaire offrent la possibilité à l'opérateur de simuler avec exactitude, avant même la phase chirurgicale, le résultat de son plan de traitement. Il peut donc revenir sur ses décisions de planification ou modifier sa stratégie prothétique, plutôt que de constater l'échec du traitement lors de la réalisation de la prothèse en bouche.

2. 2. 3. Aide à la communication.

La notion de communication concerne tous les moyens utilisés pour entrer en relation avec les autres, par des messages, des signaux, des informations, en vue d'influencer, de promouvoir de persuader une personne ou un projet. Sans une communication efficace, la relation praticien-patient ou praticien-prothésiste devient difficile et compromet la réussite des traitements envisagés [77].

2. 2. 3. 1. Avec le patient.

Il est possible d'améliorer la communication avec le patient via l'outil informatique. Que ce soit le praticien lui-même ou le personnel du cabinet, il peut être utilisé de diverses façons selon le résultat souhaité.

2. 2. 3. 1. 1. Présentation assistée par ordinateur.

Le praticien peut utiliser des images cliniques ou radiologiques (numériques ou secondairement numérisées, appartenant à lui ou non) pour étayer son discours, expliquer, discuter avec le patient. Stockées dans une bibliothèque, appelée encore « catalogueur d'images », elles peuvent être visionnées ponctuellement ou bien être insérées dans des présentations. Ces dernières visent à organiser les images selon des thèmes précis : cas cliniques, procédures thérapeutiques, procédures hygiéniques... Les logiciels de présentation assistée par ordinateur (ou PréAO) de type Power Point® ou Keynote® sont intéressants pour construire, projeter les présentations sur écran ou les éditer sous forme de fiches [28,126]... Parallèlement, il existe des images ou des présentations « prêtes à l'emploi » (Quick Dental Office®, Consult-Pro®, Dentalvista®, Dentrix®, Guru®,...) que l'on peut personnaliser avec ses propres commentaires, symboles, photos et éditer par la suite. Mais aussi performants et complets que sont ces supports, encore faut-il prévoir le temps nécessaire à leur utilisation dans le planning du praticien ; déléguer cette tâche à un autre membre de l'équipe paraît être une solution, mais cela nécessite sa formation préalable [15].

2. 2. 3. 1. 2. DVD de salle d'attente.

Pour pallier à la problématique citée précédemment, il existe une alternative : la diffusion de messages de prévention en salle d'attente. De plus en plus de praticiens utilisent leur salle d'attente pour informer leurs patients. Par le biais de fiches d'information ou de DVD spécialement conçus pour les salles d'attente de cabinet dentaire, le patient se sent plus à même de dialoguer, de poser les questions et de comprendre les explications de son praticien. Quelques exemples de DVD : Canal 33 (DVD mensuel diffusant des séquences variées - actualité, voyages, musique - mais aussi bucco-dentaires avec son), Quick Dental® (questions-réponses, quizz, iconographies 2D et 3D, sans bande-son), Foxy Concept Attente® (DVD interactif sur la dentisterie permettant l'inclusion d'un module personnalisé sur le cabinet,

l'équipe soignante...), Altitude Multimédia® (film réalisé par une équipe de professionnels sur le cabinet) [15, 23].

Ces techniques de communication sont utilisées pour l'éducation du patient et sa motivation. Dans ce cadre précis, une présentation assistée par ordinateur complétée par une fiche personnalisée que le patient gardera renforce le message : il est plus facile de retenir une intervention orale lorsqu'elle est complétée par un support visuel ou écrit. La photographie et l'imagerie vidéo sont à cet égard des outils pédagogiques efficaces, rendant le discours du praticien plus explicite et plus concret. Le but étant de retenir l'attention du patient, les images peuvent provoquer sa prise de conscience et le responsabiliser. Le patient fait partie intégrante de la décision : il situe mieux le problème, évalue lui-même le rapport bénéfice/risque. Une image grossie sur écran de sa carie molaire ou des cas cliniques montrant l'évolution de sa maladie parodontale sont autant d'électrochocs qui peuvent lui faire acquérir une nouvelle attitude. On peut aussi stocker des images pour expliquer une procédure thérapeutique type : pose d'implant, préparation coronaire, surfaçage... [61].

2. 2. 3. 1. 3. Prévisualisation thérapeutique.

La prévisualisation thérapeutique ou esthétique, qui consiste à prendre une photo ou saisir une image vidéo et la modifier à l'aide de logiciels pour simuler le résultat final, est une bonne solution pour augmenter l'acceptation des devis par le patient... [10, 127] Car souvent, le patient sait qu'il faut faire tel ou tel soin, mais refuse pour d'autres raisons : temps, peur, influence des proches et surtout coût. Tout est toujours trop cher quand on n'a pas compris. Cette technique a donc un impact très fort sur le patient et sa prise de décision [10]. Mais attention, cela comporte des inconvénients non négligeables : ce travail numérique est très chronophage, nécessite une maîtrise de l'outil informatique [27] et lorsqu'il est bien réussi, peut être source de litiges (inadéquation du résultat thérapeutique par rapport à la prévisualisation photographique). Il convient donc d'utiliser ce mode de communication de façon très circonspecte et d'utiliser des photographies « avant-après » de cas similaires plutôt que les propres images du patient [126].

2. 2. 3. 1. 4. Sites web des praticiens.

Dernier outil de communication avec la patientèle : les sites web des praticiens. Très en vogue dans les pays anglo-saxons, ils permettent de continuer la communication

avec le patient, même quand il n'est plus dans le cabinet [43]. Définitions, explications, iconographie... le patient aura tout le loisir de les consulter chez lui et d'obtenir les données nécessaires pour s'engager de façon éclairée. Car, ne l'oublions pas : une fois rentrés chez eux, si les renseignements du Chirurgien Dentiste n'ont pas été assez clairs et précis, les patients iront chercher des informations sur Internet, pour le meilleur et pour le pire. Et les nombreux forums où il est question de problèmes, d'escroqueries, d'expériences plus ou moins heureuses peuvent dissuader les plus téméraires d'aller sur le fauteuil. Là encore, un site personnel permet de recadrer le patient et de lui fournir des données fiables [15]. Bien entendu, il devra se conformer à la Charte éditée par le Conseil de l'Ordre [100].

L'imagerie vidéo, la radiologie et la photographie numériques sont donc d'excellents outils de communication avec le patient. Ces outils éducatifs permettent de surmonter les obstacles, que sont la peur et les raisons financières : voir, c'est croire [10]. De plus, un cabinet qui possède une caméra endo-buccale ou du matériel photographique numérique apparaît comme à la pointe du progrès [10, 11].

Compte tenu de l'évolution du matériel informatique et des logiciels, on peut dire que ces technologies n'en sont qu'à leurs débuts. Cependant, utilisées abusivement, elles peuvent s'avérer dangereuses (litiges avec le patient, tentation de truquer les radiographies et les photos dans les présentations de cas cliniques) [126].

2. 2. 3. 2. Avec le prothésiste.

La profession de Chirurgien Dentiste implique une communication avec le patient, mais aussi avec le prothésiste lors de la réalisation des prothèses dentaires. Les échanges avec lui interviennent le plus souvent au moment de la détermination de la couleur [77]. En effet, le choix de la couleur est une étape délicate, notamment pour les restaurations antérieures. Si le choix visuel à l'aide de teintiers reste encore la méthode la plus répandue aujourd'hui, il existe pourtant des instruments performants, associés à des logiciels d'analyse et de communication avec le laboratoire de prothèse. Mis au point depuis une dizaine d'années par la recherche, ces instruments de mesure peuvent être classés en 2 familles : les spectrophotomètres et les colorimètres [77].

Matériel	Type	Référence	Zone de mesure	Analyse	Communication	Prix
Spectro Shade (MHT, 2001)	Spectro-photomètre	Nombreux teintiers	Cadre large	Cartographie couleur 3 zones 3D +translucidité	Logiciel avec transmission de fiche détaillée	+++
Vita Easy Shade (Vita, 2002)	Spectro-photomètre	Vita classical® Vita 3D Master®	Spot central 8 mm	Ponctuelle 3 points 3D	Basique Contrôle couleur au laboratoire	++
Shade Vision (X Rite, 2002)	Colorimètre	Nombreux teintiers	Cadre large	Cartographie couleur 3D	Logiciel sophistiqué Modèle de présentation au laboratoire	+++
Digital Shade Guide (Rieth, 2004)	Colorimètre	Nombreux teintiers	Spot central 2 mm	Ponctuelle 3 points 3D	basique	++
Chromatis (MHC, 2005)	Colorimètre	Carte à puce tous teintiers	Spot central 3 mm	Ponctuelle 3 points	basique	+

Fig. 29 : caractéristiques techniques de différents spectrophotomètres et colorimètres (*d'après* [78])

2. 2. 3. 2. 1. Les spectrophotomètres.

Les spectrophotomètres (Vita EasyShade®, Spectro Shade®...) analysent et mesurent les longueurs d'onde réfléchies d'une lumière incidente polychromatique visible, et ce, sur plusieurs millions de points. Le spectre réfléchi est comparé à une base de données et la couleur de la dent en est déduite. Il suffit donc de positionner l'embout lumineux au contact de la dent et la mesure souhaitée s'affiche quasi instantanément. Actuellement, ce sont les appareils les plus précis et les plus fiables à long terme. Si le système Vita EasyShade® fonctionne sans le support d'un ordinateur, le SpectroShade® permet de recomposer des cartographies de la dent (teinte, saturation, luminosité, translucidité) sur moniteur ; elles sont ensuite regroupées sur une fiche de communication détaillée, puis envoyées au laboratoire de prothèse par mail [78].

2. 2. 3. 2. 2. Les colorimètres.

Par ailleurs, existent des colorimètres (Shade Vision®, Digital Shade Guide®, Chromatis®), moins précis que les précédents. Ils analysent la couleur en mesurant la réflexion de la lumière source au travers de 3 filtres (rouge, vert, bleu). La couleur est donc définie par ses coordonnées trichromatiques. Les systèmes Digital Shade Guide® et Chromatis® fonctionnent sans ordinateur. Le système Shade Vision de X-Rite® est relié, via une connexion USB, à un ordinateur ; le logiciel réalise des cartographies détaillées (zones de références de couleurs, saturation, teinte, luminosité) ainsi que des fiches de rapport d'analyse pour le laboratoire de prothèse. Ainsi, les spectrophotomètres et les colorimètres offrent une détermination de la couleur objective (qui ne dépend plus de l'œil, de l'environnement et de l'éclairage), rapide et transmissible au laboratoire via des logiciels de communication dans la plupart des cas [78].

Cependant, ces instruments de mesure ont aussi leurs inconvénients : un coût élevé (prix de départ de 4000 €), une certaine habitude pour maîtriser une manipulation correcte (sensibles aux erreurs de positionnement de l'embout), des difficultés pour les dents postérieures et un certain encombrement [78].

2. 2. 3. 2. 3. Le concept SoproShade® .

Parallèlement, il existe un intermédiaire entre le choix visuel par teintier et le choix purement instrumental par spectrophotomètre ou colorimètre. La société Sopro (Acteon, France) a mis au point une caméra intra-orale, la Sopro 717, ayant la fonction SoproShade®. La caméra, intégrable dans les unités dentaires, devient alors un véritable outil d'aide à la sélection. Le pouvoir séparateur de la caméra étant supérieur à celui de l'œil dans la tonalité chromatique, les faibles différences de couleurs sont donc plus facilement mises en évidence et la sélection de la teinte facilitée. Cependant, le concept SoproShade® ne se substitue en rien au savoir-faire du praticien : le choix de la couleur de la dent reste visuel et comparatif aux teintiers habituels. Il est juste reporté sur l'écran d'ordinateur. L'image est agrandie et la comparaison de la dent avec les échantillons du teintier aidée et fiabilisée [78].

En pratique, il suffit de clipper l'embout SoproShade® (4 embouts : incisives maxillaires, incisives mandibulaires, canines et universel) sur la tête de la caméra. Ces embouts contiennent un guide d'onde qui isole de l'environnement extérieur. La

lumière est homogène (8 LED de nouvelle génération), l'environnement toujours identique. Une fois la fonction « SoproShade 1 » activée sur la caméra, l'embout est positionné contre la dent (figure 30 a.). L'image de la dent, plus exactement sa moitié gauche, apparaît alors à l'écran (figure 30 b.). Elle peut être figée si l'opérateur l'estime satisfaisante en appuyant sur la « SoproTouch ». Ensuite, la caméra est mise en position « SoproShade 2 », et l'embout placé sur l'échantillon du teintier de choix (figure 30 c.). Lorsque le résultat obtenu sur l'écran - comparaison hémident/hémi-échantillon - est le plus proche possible de la couleur naturelle de la dent, l'image est à nouveau figée par la « SoproTouch » (figure 30 d.). L'image ainsi enregistrée est directement transmissible au laboratoire par simple mail. On peut y joindre d'autres images (visage du patient, sourire...) prises avec la caméra Sopro 717®, puisqu'elle possède une grande profondeur de champ : macro (1 à 5 mm), intra-orale (5 à 30 mm), extra-orale (30 mm à l'infini) [123].

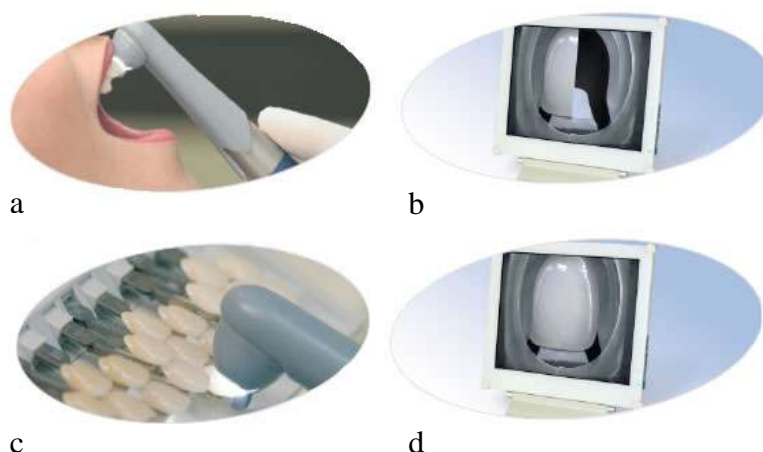


Fig. 30 a), b), c), d) : les 4 étapes du relevé de couleur avec le concept SoproShade® [123]

On le constate encore ici, les avantages de l'instrument sont nombreux : indépendance de l'éclairage ambiant, conservation du teintier habituel du praticien, agrandissement de qualité de la dent sur un moniteur, logiciel de communication avec le laboratoire, coût modéré... Mais les inconvénients de la subjectivité persistent puisque la détermination reste visuelle. De plus, elle est limitée à la teinte de base de la dent. Enfin, cette méthode nécessite obligatoirement un moniteur au fauteuil [78].

Globalement, la prise de teinte assistée par ordinateur se révèle être une aide précieuse pour le praticien, surtout pour les dents antérieures. Sous réserve de

respecter le bon positionnement de la sonde, la communication de la teinte au laboratoire est fiable et rapide et il n'existe pas de différence significative des mesures intra-observateur et inter-observateur quels que soit le système utilisé. Il n'est plus la peine d'envoyer son patient chez le prothésiste [78]. Cependant, concernant la transmission des caractérisations de la dent au prothésiste, les difficultés perdurent. Dans ce cas, la photographie numérique s'avère indissociable [101].

2. 2. 3. 2. 4. L'appareil photo numérique.

Sans revenir sur ses avantages (rapidité, amélioration de la qualité des capteurs, facilité de stockage et de transmission, etc.), la photographie numérique est un vecteur indispensable dans le dialogue praticien/prothésiste. Pour un investissement initial raisonnable (aux environs de 2000 €), cet outil numérique est à la disposition du Chirurgien Dentiste pour optimiser sa relation avec le prothésiste [101]. Des photographies générales du patient (visage face et profil, sourire face, $\frac{3}{4}$ droit et gauche...) puis plus techniques (groupe de dents, vues individuelles sur les caractérisations et état de surface, avec échantillons du teintier en bout à bout...) sont prises et constituent une aide non négligeable pour le prothésiste. [126]

Dans le cas de la prothèse amovible, même si son utilisation n'apparaît pas capitale, la photographie numérique est une aide rapide et précieuse pour transmettre au laboratoire des informations : visualisation d'une particularité anatomique, du profil facial, de l'adéquation du choix de teinte et de forme à l'environnement facial, validation de plusieurs solutions esthétiques proposées. On peut éventuellement transmettre la photo du résultat final au laboratoire, contribuant ainsi au renforcement des liens de cette chaîne thérapeutique, tout en accentuant la prise de conscience, par le patient, des efforts déployés pour son traitement. L'enregistrement photographique des différentes étapes cliniques permet de les garder en mémoire dans un contexte médico-légal potentiellement conflictuel en prothèse et de les faire partager à divers correspondants [126].

Dans le cadre de la prothèse fixée, la photographie numérique révèle le maximum de son potentiel : l'image transmet au mieux au laboratoire un référentiel de teinte *in situ*, l'état de surface des dents, la répartition des masses chromatiques (dentine et émail), la caractérisation des collets et bords libres, taches, fissures, certaines relations inter-dentaires, environnement bucco-facial (visage, lèvres...).

La transmission des données au laboratoire s'effectue par Internet, avec l'avantage de pouvoir dialoguer en direct avec le prothésiste, ou par support informatique (clé USB) adressé avec l'envoi du travail [101, 127].

En conclusion, on peut dire que l'avènement de ces nouveaux instruments facilite grandement la transmission des données du relevé des couleurs et du visage du patient (photographie numérique, caméras). Là où la subjectivité était de mise auparavant, les nouvelles techniques introduisent une dimension scientifique à la détermination de la couleur ; son interprétation par le prothésiste est largement améliorée. Les outils modernes de communication aident le Chirurgien Dentiste au quotidien. Cependant, la reconstitution d'une incisive centrale reste encore un vrai challenge.

2. 2. 4. Aide à l'identification des prothèses.

Chaque année, de nombreuses prothèses amovibles sont perdues ou échangées au sein des établissements de santé et maisons de retraite [44]. Cela pose un problème réel, qui risque de s'accroître, compte tenu du vieillissement de la population. Divers systèmes d'identification des prothèses amovibles ont été décrits pour y remédier, tels que le marquage de surface ou la gravure, couramment utilisés dans les pays nordiques (en Suède, 35 à 50% des prothèses des pensionnaires de maisons de retraite sont marquées). Faciles à réaliser, ces méthodes laissent cependant des rugosités à la surface des prothèses, sources de gêne pour le patient et d'accumulation de tartre. L'inclusion d'étiquettes, de codes-barres ont été aussi proposées mais la lecture de l'information contenue est rendue difficile par l'épaisseur de résine. Un nouveau système d'identification par marquage électronique semble prometteur ; il s'agit du système *DID (Dental Identification Device)*, système d'identification par fréquence radio, composé [44] :

- D'un transpondeur passif, c'est-à-dire un élément qui s'active uniquement lorsqu'il reçoit un signal radio et en renvoie immédiatement un autre contenant une information pertinente. Celui-ci mesure 8,5 mm de longueur par 2,5 mm de diamètre, avec une capacité de stockage de 252 bits,
- d'un logiciel *DID-Multireader* pour la saisie des informations sur le transpondeur,

- d'un lecteur *LECTid-one*, dont le rôle est double : connecté à un ordinateur via port USB, il permet la saisie ou la modification des données. Sans connexion, il lit directement le signal radio du transpondeur contenant les informations enregistrées [44] .



Fig. 31 : Le transpondeur passif (rouge et blanc) et le lecteur *LECTid-one* [44]

En pratique : on enregistre les données (état civil, nom de l'établissement par exemple) dans le transpondeur en le plaçant à 3 cm du lecteur *LECTid-one*, lui-même connecté à l'ordinateur. La saisie se fait à l'aide du clavier de l'ordinateur et du logiciel spécifique *DID-Multireader*. Le transfert de données est rendu possible par les fréquences radio entre le lecteur et le transpondeur. Le transpondeur est ensuite introduit dans la prothèse amovible, après fraisage de la résine (zones vestibulo-postérieures souvent). Il est ensuite recouvert de résine auto-polymérisante [44].



Fig. 32 : le transpondeur inséré dans la prothèse puis recouvert de résine [44]

Une étude *in vivo* sur des patients volontaires du Service de Consultations et de Traitements Dentaires de Lyon a montré que le système testé était résistant au milieu buccal après 2 mois passés en bouche, dans les conditions d'hygiène habituelle des patients. *In vitro*, le dispositif est préservé après 10 séances d'1 heure

aux ultrasons, puis au passage à l'autoclave (134°C pendant 20 min) et enfin, immergé 30 jours dans des solutions diverses (hypochlorite de sodium à 5,25%, chlorhexidine à 4%, glutaraldéhyde à 2%) [44].

Le système d'identification par fréquence radio est intéressant parce qu'il apporte des avantages considérables par rapport aux autres systèmes de marquage. Simple, rapide, sans impact sur la santé, il permet la mise à jour régulière des informations sans altérer la prothèse ; il pourrait aussi faciliter la traçabilité des prothèses (n° de lot, matériaux utilisés, nom du laboratoire, etc.), conformément aux normes européennes. En revanche, le marquage électronique pose la question du respect des libertés individuelles ; c'est sûrement la plus grande entrave au développement de ce système [44].

2. 3. Aide à l'enregistrement de la morphologie des arcades dentaires.

2. 3. 1. Les différentes méthodes de prise d'empreinte.

2. 3. 1. 1. Définition, but.

La prise d'empreinte est l'enregistrement de la morphologie des éléments de l'arcade dentaire, pour en restituer le volume, l'état de surface et donc, la situation clinique dans ses moindres détails, le plus précisément possible. L'apport de l'informatique dans cet acte a permis d'en accroître la précision et de favoriser l'essor de la C.F.A.O. en odontologie [45, 46].

Actuellement, il existe 2 modes d'enregistrement : enregistrement par contact surfacique (empreinte conventionnelle) et enregistrement par voie numérique (optique et mécanique) [45].

2. 3. 1. 2. L'empreinte conventionnelle.

C'est la méthode classique, la plus répandue dans les cabinets dentaires, celle qui réalise un moulage en négatif de l'arcade dentaire et des tissus environnants par des matériaux (hydrocolloïdes, élastomères...), permettant d'obtenir un modèle positif fidèle en plâtre [45]. Mais les imprécisions apportées par le passage de l'information de la bouche à la pâte d'empreinte, de la pâte au modèle, puis du modèle à la pièce de coulée ont amené certains à développer l'empreinte optique endo-buccale [46].

2. 3. 1. 3. L’empreinte optique endo-buccale.

Imaginée pour la première fois par une équipe de chercheurs français en C.F.A.O., l’empreinte optique endo-buccale s’est donnée pour objectif de casser cette chaîne des imprécisions. En utilisant une caméra endo-buccale de haute définition, cette succession d’approximations est rompue : l’empreinte gagne en qualité et en précision (5µm). Des prises de vue sont réalisées en bouche grâce aux techniques CCD ou CMOS, concentrées à l’intérieur d’une caméra pas plus importante en taille qu’une pièce à main [46]. Le seul système actuellement disponible sur le marché est la caméra 3D Cerec® [110] . Le principe de l’empreinte optique est basé sur la mesure de la déformation que l’objet a imposée à un rayon incident connu émis par la caméra ; on compare ainsi le rayon de référence projeté sur l’objet à celui qu’il nous renvoie et on obtient l’information de la forme de l’objet. La prise de vue peut être statique ou dynamique [46].



Fig. 33 : la caméra endo-buccale Cerec® [122]
http://www.sirona.frecomaXLget_blob.php?name=pi_cerec_bluecam_hand_558.jpg

La lecture statique de l’arcade, i-e « vue après vue » est la norme actuelle. Elle peut utiliser la technique du masque projeté (des lignes noires et blanches constituant des masques sont projetées sur l’objet et permettent ainsi de relever les points représentant la surface du modèle) ; voire des techniques plus sophistiquées encore, à l’instar des techniques matricielles (moirés électroniques/phase profilométrie) qui réalisent des empreintes plus rapidement que la vibration de la main - inférieures au 1/30^e de seconde . La prise de vue peut aussi se faire par la technique dite du temps de vol : la mesure de la position des points à la surface de l’arcade est calculée en fonction du temps mis pour aller de la caméra aux points et revenir. C’est en quelque sorte une échographie optique [46].

La lecture dynamique consiste à filmer en continu et en 3D l'intérieur de la bouche, les dents, les préparations voire même suivre les mouvements mandibulaires dans l'espace. Peu répandue actuellement car en voie d'amélioration, la prise de vue dynamique apparaît comme étant l'avenir logique de la caméra endo-buccale. [46]

Plus largement, on peut affirmer que l'empreinte optique endo-buccale est l'avenir en C.F.A.O. Certes, des problèmes sont rencontrés aujourd'hui au niveau de la corrélation des vues (c'est à dire la fusion des images pour ne constituer qu'un seul objet final) et ce, aussi bien pour la lecture statique que dynamique ; la corrélation des images ramène la précision des empreintes optiques de 5 à 20 μm . C'est ce qui explique d'ailleurs pourquoi les systèmes de lecture hors-bouche sur modèles, que nous allons évoquer ci-après, ont du succès [46]. Mais compte-tenu de l'évolution des appareils informatiques et de leur capacité de traitement, les éléments intermédiaires type micro-palpeur sur modèle en plâtre vont disparaître au profit du rayonnement optique en bouche [46, 49].

2. 3. 1. 4. L'empreinte mécanique par contact ponctuel (palpage).

Elle ne peut pas être utilisée directement en bouche : elle nécessite au préalable une empreinte conventionnelle afin de réaliser un modèle de travail au laboratoire de prothèse [45]. Ce modèle positif unitaire ou MPU est ainsi placé sur une platine tournante ; un stylet de saphir vient au contact du moignon pour enregistrer sa forme. Le stylet réalise un mouvement elliptique autour de la préparation et intègre la position de dizaines de milliers de points en valeur numérique x, y, z correspondant à la position du stylet par rapport au point de référence 000. Les valeurs enregistrées au cours de la trajectoire du stylet sont transmises à l'ordinateur [45, 41]. Les caractéristiques du moignon sont ensuite visualisées sur l'écran, rectifiées par le prothésiste et stockées. Ce balayage automatique et précis ($\pm 0.5 \mu\text{m}$) nécessite néanmoins que la préparation soit arrondie, sans angles vifs pour une lecture des formes de qualité. Le principe d'empreinte par contact ponctuel ou palpation est actuellement utilisé par le système *Procera®* [41, 98].



Fig. 34 : Procera Piccolo® (à g.) et Procera Forte® [98]
http://www1.nobelbiocare.com/Images/procera-piccolo_tcm58-3595.jpg



2. 3. 1. 5. L’empreinte optique sur modèle.

Cette fois, l’enregistrement des données se fait par scanner optique sur le modèle en plâtre issu d’une première empreinte conventionnelle. Le principe repose toujours sur l’enregistrement de la déformation d’un rayon lumineux projeté sur l’objet à mesurer. Différents systèmes sont à envisager [106] :

- Principe dit de triangulation : plusieurs caméras enregistrent la déformation de l’onde projetée sur l’objet. La précision est fonction du nombre de projecteurs et de caméras ;
- Projection d’un point lumineux : le point lumineux balaye la surface du modèle et se déforme en surface. La déformation est enregistrée par la caméra, donnant la position de chaque point du modèle ;
- Projection d’une ligne lumineuse : la ligne lumineuse donne un ensemble de points alignés, qui sont enregistrés par le capteur ;
- Masque projeté : des lignes noires et blanches sont projetées successivement sur l’objet, ce qui permet de relever l’ensemble des points de sa surface [106].

A partir de ces données, l’ordinateur réalise une conversion en 3D des structures lues par la caméra. L’empreinte optique sur modèle, parce qu’elle est très rapide et directement exploitable, est largement utilisée par les prothésistes : avec lumière blanche (*KaVo®*, *Cynovad®*) ou avec laser (*Bego®*, *Sirona®*) [110].

2. 3. 2. Avantages et inconvénients par rapport à l’empreinte classique par contact surfacique.

2. 3. 2. 1. Avantages.

L’avantage commun à toutes ces techniques assistées par informatique est le stockage des données sous forme numérique, qui permet une pérennisation des informations et un gain d’espace considérable, à la différence des modèles en plâtre qui sont encombrants et se dégradent rapidement. Mais hormis cela, les avantages

des empreintes par palpation ou des empreintes optiques sur modèle sont bien restreints. En effet, le fait qu'elles nécessitent préalablement une empreinte conventionnelle ne casse en rien la chaîne des imprécisions et n'apporte aucune nouveauté dans la pratique quotidienne du Chirurgien Dentiste [45, 46]. En revanche, l'empreinte optique endo-buccale y contribue largement. Ergonomique, elle permet un confort encore jamais atteint par le praticien et le patient : rapidité de mesure (quelques secondes), suppression des matériaux à empreinte, des porte-empreintes et du réflexe nauséeux, effet zoom (x2 à x50) [122]... Inaltérable, elle ne nécessite pas de conservation ou de traitement (désinfection) particuliers. Elle modifie aussi les rapports praticien-prothésiste : envoi des empreintes via Internet, communication en temps réel, modification de la préparation au cours de la séance de taille en fonction des besoins du prothésiste, etc. L'empreinte optique endo-buccale va donc dans le sens de l'avenir [46].

2. 3. 2. 2. Inconvénients.

Ces différentes méthodes d'empreinte sont destinées à la C.F.A.O. et malheureusement encore dépendantes du processus « empreinte-C.A.O.-usinage » d'une marque donnée. Ainsi, le micro-palpeur *Procera®* enregistre des données numériques qui ne sont traitées que par le logiciel de conception *Procera CADD®* (*Computer Aided Dental Design*) ; de même, l'unité de scannage Sirona ne fonctionne qu'avec sa propre unité de conception. On est donc dans une classification par fabricant, où tous les éléments sont dépendants les uns des autres. Cependant, le marché évolue : des appareils indépendants apparaissent, capables de dialoguer avec d'autres éléments d'une chaîne connue ou d'autres éléments eux-mêmes indépendants [8, 49].

Pour les empreintes mécaniques et optiques sur modèle, le grand inconvénient reste le passage obligatoire par l'empreinte conventionnelle. Les aspects négatifs pour le praticien et son patient sont les mêmes au fauteuil et, théoriquement, les imprécisions du scannage optique ou mécanique se rajoutent à celle de la première empreinte. En pratique, ces imprécisions sont compensées ensuite par le passage direct de la C.A.O. à l'usinage [45, 46].

Pour les empreintes optiques endo-buccales, l'inconvénient majeur est évidemment le coût du dispositif (90 000 €), ainsi que son apprentissage par le praticien (environ 2 jours d'apprentissage et une trentaine de restaurations réalisées pour avoir un

niveau acceptable) [29, 129]. En outre, la lecture des limites de préparation « sous-gingivales » peut être difficile et nécessiter une déflexion par laser de la gencive marginale ; l'obligation de pulvériser les surfaces des préparations de poudre de dioxyde de titane pour obtenir une réflexion spéculaire³ pure est aussi un désagrément [8, 129]. Enfin, la perte de précision induite par l'indispensable étape de corrélation des images reste un problème majeur auquel se heurtent toujours les ingénieurs [46].

2. 3. 3. Exemples de systèmes utilisables au fauteuil.

2. 3. 3. 1. Caméra de mesure 3D Cerec.

2. 3. 3. 1. 1. Description.

Il s'agit d'un instrument de mesure opto-électronique ultra-précis (résolution : 25x27 μ), qui se présente sous la forme d'une pièce à main. Celle-ci est raccordée à un ordinateur spécialement conçu pour l'élaboration de restaurations. La caméra de mesure 3D Cerec et l'ordinateur forment l'unité de prise d'empreinte Cerec. La prise d'empreinte optique est réalisée en plaçant la caméra intra-buccale au dessus de la préparation. Quelle que soit la distance par rapport à la préparation, le cadrage et la luminosité seront toujours optimaux : la caméra est munie d'un système optique autofocus. En outre, un support - à usage unique - situé à l'extrémité de la caméra permet d'assurer un appui stable en bouche et d'éviter les bougés et la détérioration du prisme lors de la prise d'empreinte. Les images affichées à l'écran sont d'une extrême netteté sur une grande profondeur de champ. Même les zones généralement peu visibles sont représentées avec précision [122].

L'acquisition des données se fait toujours selon le principe dit de triangulation (émission d'une lumière à partir de la caméra en direction de la dent ; réception, *via* le capteur CCD, du rayonnement renvoyé ; conversion du signal et transmission des données à l'ordinateur). La comparaison entre le rayonnement incident et le rayonnement réfléchi par la préparation permet d'en reconstituer sa forme [46].

2. 3. 3. 1. 2. Utilisation.

En pratique, la caméra de mesure 3D Cerec est placée à l'aplomb de la dent, selon l'axe d'insertion de la future reconstitution. L'opérateur prend appui sur la partie

³ *Spéculaire* : relatif au miroir.

antérieure du support de caméra pour éviter de bouger pendant la phase de mesure. Il actionne la pédale de l'unité de prise d'empreinte Cerec et la maintient enfoncée : on obtient alors une image *live* sur l'écran. La luminosité et le cadrage sont réglés automatiquement et indépendamment de la distance dent-caméra. Cependant, il est recommandé de supprimer les sources d'éclairage étrangères type scialytique. Après avoir trouvé l'axe d'insertion idéal, la pédale est relâchée : l'image devient fixe. Si elle est floue, un signal acoustique retentit pour en avertir l'opérateur. Si l'image est satisfaisante, la mesure tridimensionnelle de la préparation peut commencer. Les points suivants doivent être contrôlés : netteté, clarté, flou de l'image, car ils peuvent être à l'origine d'erreurs lors de l'usinage. Après validation, l'image est stockée dans un catalogue d'images. Il est possible de saisir entièrement des préparations d'inlays en trois dimensions avec un seul cliché. Pour les restaurations de plus grande étendue - bridge -, ou pour prendre l'empreinte des dents adjacentes, il faudra étendre le champ et plusieurs clichés successifs seront nécessaires (un clic par image). La zone de chevauchement de 2 enregistrements voisins doit être d'environ 8 mm. Le tout sera reconstitué en alignant ou en combinant les images. Il est aussi possible de faire des enregistrements angulaires pour les zones masquées ou les parois verticales ; la bascule maximale autorisée est de 20°. Quant à l'enregistrement des surfaces antagonistes à la future restauration, il se fait grâce à un mordue d'occlusion en silicone spécifique (*Metal-Bite® R-dental*, *Dento-bite 21® Dentona*). Une autre empreinte optique est réalisée, mordue en place sur la préparation ; l'antagoniste s'affiche sur l'écran et sa position est alors précisément déterminée par le logiciel qui superpose les 2 empreintes optiques [122].

Remarque : une nouvelle caméra est apparue chez Cerec début 2009 : la Bluecam®, qui offre de meilleurs clichés grâce à sa lumière bleue (les ondes plus courtes générant des clichés d'une extrême précision), une plus grande profondeur de champ, ainsi qu'une sélection automatique des meilleures prises de vue... [122]

En raison de problèmes de réflexion, les dents préparées doivent être recouvertes d'une poudre blanche de dioxyde de titane, rendant leur surface crayeuse, mate et homogène : la réflexion est alors dite spéculaire pure. Ce dépôt de *coating* blanc reste encore un obstacle, sur le plan clinique, à la prise d'empreinte optique intra-orale [129]. L'utilisation de lumières incidentes qui rendraient la lecture indépendante

de l'albédo⁴ de la dent, de la couleur et du matériau présent en bouche pourrait supprimer cette étape clinique. Ainsi, les recherches se tournent actuellement vers l'utilisation des rayonnements UV ou proches UV : avec ces longueurs d'onde, toutes les dents apparaissent comme crayeuses [46].

Remarque : depuis début 2009, il est possible d'utiliser un spray avec embout pour une pulvérisation localisée (Optispray®), remplaçant ainsi le dépôt de *coating* blanc. En outre, le produit est hydrosoluble, donc facile à enlever [122].

Équipée de la caméra intra-orale Sirocam® (proposée en option) et du logiciel de radiographie numérique Sidexis®, l'unité de prise d'empreinte se transforme en centre de communication mobile et convivial pouvant être installé directement au poste de traitement [122].



Fig. 35 : Cerec Chairline®, intégrée à l'unité (à g.) et unité de prise d'empreinte Cerec 3 [122] http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_screen_174.jpg

Elle est reliée par radio à l'unité d'usinage Cerec 3D® ou par réseau LAN/WLAN au modèle Cerec MC XL®, un modèle plus sophistiqué. Cette unité de prise d'empreinte se plie donc aisément aux exigences du cabinet. De plus, l'utilisation d'un logiciel d'information sur CD-ROM ou DVD permet de conseiller les patients plus rapidement. D'où un gain de temps supplémentaire [122].

2. 3. 3. 2. Système Evolution 4D (E4D).

Récemment apparu aux USA et soutenu par la société *Schein®* est arrivé une sorte de copie du *Cerec®* dans un design quasi identique : le *E4D®*, pour *Evolution 4D®*

⁴ Albédo : fraction de la lumière reçue que réfléchit un corps.

par le groupe D4D (Richardson, Texas). A l'instar du *Cerec 3D®*, le système *E4D®* regroupe 3 unités - empreinte, C.A.O, machine-outil -, facilement intégrable dans un cabinet dentaire [29, 31, 49, 110]. Sa caméra se présente sous forme d'une pièce à main, désignée sous le nom de « convertisseur analogique-numérique », ou *IntraOral Digitizer® (IOD®)*. Elle réalise ainsi une empreinte digitale de la préparation et des dents voisines en utilisant la technique laser. Il s'agit d'un laser de bas niveau d'énergie, différent de ceux utilisés pour la chirurgie buccale, donc sans risque pour les tissus environnants. Toujours selon le principe dit de triangulation, les surfaces dentaires sont balayées par le rayonnement laser de la caméra, qui capte ensuite le rayonnement réfléchi par les structures. Les données intégrées sont enfin transformées en image tridimensionnelle sur l'écran. Le système *E4D* emploie également une sorte d'appareil photographique très petit, situé dans la pièce à main ; les photos prises de la préparation et superposées au modèle 3D créent une image 3D très réaliste (procédé *ICEverything*). Le clinicien peut ainsi aisément voir les plus petits détails, comme les limites de préparation qui, virtuelles ou réelles doivent toujours être vérifiées afin d'assurer une restauration correcte. Il visualise alors sur l'écran un véritable modèle en trois dimensions, qui peut être tourné dans tous les sens de l'espace. Le système « capture » aussi les dents voisines, de sorte que la future prothèse, issue d'une bibliothèque, sera adaptée à la dentition existante du patient (procédé *Autogenesis®*). Le logiciel *DentaLogic®* se veut intuitif : il est facile d'identifier et de suivre des icônes grâce à des étiquettes simples qui font comprendre à l'opérateur où il en est dans le processus de conception [50].

Actuellement distribué aux Etats-Unis mais pas encore en Europe, le système *E4D* compte bien s'y développer [29, 31, 49, 110] en avançant les arguments suivants : image précise (l'*E4D* utilise la formation image par laser, l'image ainsi construite est précise avec plusieurs millions de points de repères) ; aucun changement lors de la préparation de la dent (la capacité de formation image par laser de l'*E4D* n'implique pas de modification de préparation, ni même de dépôt de coating blanc comme avec le *Cerec 3*) ; aide technique en ligne immédiate, grâce à une touche « SOS » présente sur le clavier de l'unité [50].

2. 3. 3. 3. Lava Chairside Oral Scanner® (C. O. S.®).

Le groupe 3M ESPE® proposera bientôt sur le marché un scanner intra-oral appelé Lava Chairside Oral Scanner® (C.O.S.®) [8, 49]. Le scanner Lava C.O.S.® utilise la technique *3D-in-Motion®*, qui permet une prise de vue 3D vidéo en continu et en temps réel pour l'enregistrement de l'anatomie dentaire. Ce n'est donc plus le « pointer-cliquer » qui réalisait des photographies partielles depuis la déformation d'un faisceau lumineux ou laser sur l'objet et sa reconstitution. Le praticien obtient alors des empreintes digitales rapides et précises au fauteuil. Le scanner Lava C.O.S.® réalise des empreintes pour prothèses conventionnelles comme les CCM ou comme les prothèses entièrement en céramique de type Lava® Couronnes et bridges. Avant même que le patient quitte le fauteuil du praticien, le Chirurgien Dentiste ou son assistante peuvent rapidement et facilement remplir le dossier du patient en utilisant l'écran tactile. L'empreinte numérique et sa fiche de laboratoire sont ensuite adressées au laboratoire [79].

Le Lava Chairside Oral Scanner® contient un système optique assez complexe (objectifs multiples, diodes électroluminescentes bleues, algorithmes de traitement d'images à grande vitesse et logiciel de modélisation en temps réel) au sein d'une pièce à main de seulement 13.2 mm de diamètre pour moins de 400g. Il peut saisir des quantités massives d'images visuelles en juste quelques secondes : 20 ensembles de données 3D par seconde pour un balayage précis et à grande vitesse. À la différence des autres techniques traditionnelles de point et de clic qui se fondent sur la déformation d'un laser ou d'une lumière sur un objet pour déterminer les données 3D, la technique *3D-in-Motion®* capture les données 3D dans un ordre visuel et modèle les données en temps réel. Les images saisies sont simultanément affichées sur l'écran. Avec cette visibilité en temps réel, un Chirurgien Dentiste peut immédiatement évaluer si suffisamment d'informations ont été saisies pour son l'empreinte numérique [79].

Le système Cerec® et, plus récemment, le système E4D® ont réussi à introduire la C.F.A.O. directement dans le cabinet dentaire pour obtenir des pièces prothétiques en une seule séance. Le Lava Chairside Oral Scanner® permet, certes, au Chirurgien Dentiste d'entrer dans l'odontologie numérique en bénéficiant de la facilité et du confort des empreintes digitales, mais sans pour autant se défaire de l'assistance du laboratoire, qui reste concepteur et fabricant de la prothèse [8, 49].

2. 3. 4. Applications cliniques.

L'acquisition précise de la morphologie des arcades dentaires par enregistrement numérique est, par nature, liée à la C.F.A.O. L'acquisition numérique est même l'étape fondamentale de la C.F.A.O. dentaire. L'objectif de cette dernière étant la suppression des imprécisions au cours des actes, il a fallu développer de nouvelles méthodes de prises d'empreintes, plus précises et plus rapides, pour y répondre. Le Chirurgien Dentiste ne pouvait pas rester à l'écart des techniques de pointe, pourtant déjà utilisées dans d'autres domaines ; l'apport de l'informatique a donc rompu avec les méthodes conventionnelles, bien souvent trop approximatives. Et l'empreinte optique endo-buccale est celle qui répond le mieux à cette asymptote de précision : en réalisant l'empreinte directement en bouche, on tire le maximum d'avantages de la C.F.A.O. [46]. Actuellement, sur le marché, seul le système Cerec® l'utilise. Mais le développement d'autres caméras intra-orales (E4D®, Lava C.O.S.®) prouve que la tendance s'inverse. L'empreinte optique devient inéluctable [29, 31, 49, 79, 110]. Outre cette application, les empreintes numériques trouvent aussi leur intérêt en simplifiant la communication entre confrères ou entre praticien et prothésiste. [8, 49] Enfin, la conservation et le stockage des empreintes numériques ne sont plus un problème au cabinet dentaire : elles sont simplement sauvegardées sur l'ordinateur [46].

Les empreintes optiques s'inscrivent donc dans une méthode de travail nouvelle, qui devrait permettre d'obtenir un niveau de qualité supérieur. Dans un futur proche seront même proposés des systèmes optiques avec tête d'analyse, qui indiqueront les modifications à apporter à la préparation pour atteindre « la » préparation idéale [46, 49]. Cependant, comme pour tout nouvel instrument, la courbe d'apprentissage peut s'avérer fastidieuse avant d'en tirer la quintessence.

2. 4. Aide à la conception et à la fabrication de prothèses : la C. F. A. O.

2. 4. 1. Introduction.

2. 4. 1. 1. Définition-généralités.

La C.F.A.O. (ou Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur, ou encore CAD/CAM pour Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) est apparue dans les années 70 avec l'introduction des machines-outils à commande numérique, remplaçant la main de l'Homme dans l'industrie. La modélisation de la pièce sur écran ordinateur puis son usinage automatique à partir du fichier ont rapidement augmenté productivité et précision dans le secteur industriel. Alors, pourquoi ne pas l'appliquer à la prothèse dentaire [47] ? Car tout réside dans le fait qu'une pièce prothétique est unique et s'adapte à un support unique - la préparation - et un environnement unique - dents proximales, antagonistes, volume des crêtes... Il faut donc rajouter une étape supplémentaire à celles de modélisation et d'usinage pour connaître l'environnement et le support de la future prothèse : l'acquisition des données par scannage [131].

En odontologie, tout système de C.F.A.O. se décompose en 3 étapes immuables, au cours desquelles sont utilisés l'informatique, le numérique et les techniques d'usinage par machine-outil [8, 110, 131] :

- A. une première étape d'acquisition par scannage, au cours de laquelle les données physiques concernant le support et l'environnement de la future pièce prothétique seront transformées en données numériques, afin d'être traitées par ordinateur. Le mode d'enregistrement peut être un palpeur, un système optique ou un laser ;
- B. une seconde étape de traitement des données par un logiciel, et de conception du produit ;
- C. une dernière étape de fabrication, où les données sont transmises à une machine-outil, pour usiner le produit conçu.

En odontologie, selon la localisation des composants du système de C.F.A.O., 3 concepts de production sont possibles [8, 131] :

- production au fauteuil. Tous les composants du système se trouvent dans le cabinet dentaire, et donc les 3 étapes s'y déroulent. Actuellement, seul le système Cerec® permet la C.F.A.O. au fauteuil .
- production au laboratoire. Les habitudes de travail du praticien ne sont pas modifiées. Les empreintes sont adressées au prothésiste qui réalise le maître-modèle, l'acquisition des données tridimensionnelles, la conception et la fabrication. Là encore, 3 étapes sur 3 ont lieu dans le même endroit. Les systèmes Cerec InLab®, Cercon® permettent la C.F.A.O. au laboratoire de prothèse.
- production mixte. 2 étapes sur 3 - acquisition et conception - sont effectuées par le prothésiste, la dernière étape de fabrication étant réalisée par un centre de production industriel (Procera®, Everest®, Pro 50®,...) à distance. Ainsi, l'usine Procera®, à Stockholm, usine près de 3000 pièces par jour.

Remarque : certains centres de production peuvent aussi recevoir le maître-modèle du laboratoire et exécuter toute la chaîne de C.F.A.O., depuis l'acquisition des données jusqu'à l'usinage (Lava®, Bego Medifactoring®). On parle alors de solutions externalisées [110, 139]. Mieux encore, la société Biodentis® offre aujourd'hui la possibilité aux praticiens d'envoyer directement l'empreinte conventionnelle au centre de production et de recevoir la pièce prothétique quelques jours plus tard. Cela reste limité aux inlays-onlays [8, 14]. Le groupe Lava® proposera prochainement le même système dans ses centres de production, mais avec une empreinte numérique issue du Lava COS® et envoyée, par le praticien, au centre de production via Internet [79].

Ces 3 concepts permettent donc à tous les praticiens de bénéficier de la C.F.A.O. dentaire. En fonction de leurs objectifs et de leurs capacités d'investissement, praticiens et prothésistes choisiront parmi les différentes options proposées.

2. 4. 1. 2. Historique.

La C.F.A.O. dentaire est née dans les années 70, période où l'informatique était balbutiante et où l'usinage automatique apparaissait dans les usines automobiles et aéronautiques [47]. La chirurgie dentaire et surtout la prothèse, ne pouvaient pas rester à l'écart de ces technologies. Améliorer la précision, supprimer les gestes

répétitifs, augmenter la production... Le prothésiste pouvait aussi en bénéficier, et pas seulement l'industrie. L'idée commençait à mûrir dans l'esprit des chercheurs, de Chicago à Londres, de Boston à Lyon. Et bien que des mesures optiques des dents ou des usinages de surfaces occlusales fussent proposées aux USA, c'est en France que la C.F.A.O. dentaire fut inventée puis présentée en 1973 avec la thèse de F. Duret *Empreinte optique* (Lyon, Université Claude Bernard). Dans cette thèse sont décrites toutes les techniques aujourd'hui encore utilisées en C.F.A.O. : lecture 3D par interférométrie, conversion analogique-digitale, modélisation informatique, commande des machines-outils, procédés d'usinage... L'aide d'industriels tels que Thomson, Matra ou ICN permit à l'équipe de Duret de parfaire la méthode optique avec la profilométrie et les capteurs CCD, ainsi que l'usinage. La première démonstration en public de la *couronne en 20 minutes* fut faite au milieu des années 80. L'équipe française était alors en avance par rapport aux autres groupes de recherche dans le monde ; aux Etats-Unis, il n'existait pas de lancement franc et total de la C.F.A.O. (il faudra attendre les années 90 avec Diane Rekow puis Lava® et D4D® dans les années 2000 pour sentir une réelle implication). Une seule autre équipe allait tout de même se démarquer : celle de Werner Mörmann (Université de Zurich) et de Marco Brandestini (Brains GmbH) qui développèrent le Cerec Mark 1. L'appareil permit, dès 1985, de réaliser les empreintes en bouche et d'usiner des inlays en quelques minutes. La période de rivalité Allemagne-France pouvait commencer [47]. Alors que les essais cliniques des premiers appareils français de C.F.A.O. dentaire débutaient en 1987 avec le premier matériau pour C.F.A.O. (composite Aristee de Spad), le Cerec 1, avec le soutien énorme de Siemens dentaire - futur Sirona® -, poursuivait son ascension. Mörmann présenta les premières céramiques usinables (Dicor MGC, Vita Cerec) et la nouvelle génération Cerec Mark 2 [91]. Par sa convivialité, sa maniabilité, Cerec a acquis à cette période ses lettres de noblesse. Quelques années plus tard mais toujours en Europe, une nouvelle équipe fit son apparition. Le Suédois Matt Anderson avec le soutien de Nobel Pharma® mit au point le système Procera®. Ici, la prise de vue 3D intra-orale et l'usinage par fraisage du système de Duret et du Cerec sont remplacés par le micro-palpéage du maître-modèle et l'usinage par électro-érosion dans un centre spécialisé. Electro-érosion car le matériau usiné à l'origine était le titane. Procera® ne connut le succès qu'à la fin des années 90 mais mit en avant la possibilité de la décentralisation du travail du prothésiste [47].

Alors que la domination des équipes européennes avec la France, l'Allemagne et la Suède était écrasante, on assistait aussi au réveil du Japon. Un ingénieur roboticien, Sadami Tsutsumi, spécialisa des sous-unités de recherche : chercheurs en lecture 3D, en modélisation, en usinage... Le but étant la réalisation d'un système de C.F.A.O. japonais. Malheureusement, aucun appareil complet n'a encore vu le jour. A partir de ce moment et jusqu'en 2000, la C.F.A.O. dentaire n'évolua pratiquement plus. Ce fut une période de stabilisation technologique au cours de laquelle les petites équipes disparurent au profit des plus grandes, Procera® et bien sûr Cerec®, mais aussi apparition du Pro 50® et de l'Everest de KaVo® [48]. En une quinzaine d'années, la C.F.A.O. dentaire est donc devenue crédible et a fait rentrer pour toujours l'odontologie dans le monde du numérique.

2. 4. 1. 3. Intérêt de la C. F. A. O.

Réduire les gestes répétitifs et les imprécisions de l'Homme tout en augmentant l'efficacité et la sécurité de la production, tels sont les objectifs de la C.F.A.O. [47]. Compte-tenu de l'évolution informatique actuelle, elle y répond parfaitement et ce, dans de nombreux domaines. La chirurgie-dentaire bénéficie désormais de ces avantages qui sont multiples :

- gain de temps pour le prothésiste : en laissant faire certaines tâches répétitives par les machines, il peut se consacrer à d'autres activités (finitions, esthétique...) [8, 110] ;
- gain de temps pour le praticien : en informatisant l'acte dentaire (communication facilitée, stockage des données du patient...) [3, 46], en supprimant l'étape de l'empreinte par l'enregistrement optique [46], beaucoup plus rapide, ou encore en usinant une couronne en quelques minutes au fauteuil [3, 29, 31, 110, 129] ;
- gain de temps pour le patient : couronnes en une seule séance [129].
- qualité du travail : précision [8, 110, 129], amélioration de la coulée, suppression des inhomogénéités des pièces prothétiques, utilisation de matériaux performants et résistants (zircone et titane) [8, 110], et de techniques industrielles d'usinage. [47]

Concernant ce dernier point, il est utile d'ajouter quelques précisions. Les matériaux accessibles par C.F.A.O. sont nombreux : métaux (titane, or, cobalt-chrome), composite, céramique (polycristalline, infiltrée...), résines [8, 106, 110, 131]. On peut

donc dire que tous les matériaux peuvent être usinés par F.A.O. Mais, en pratique, les métaux hormis le titane sont peu usinés [8]. En effet, compte-tenu du gaspillage de matériau - fréquent en F.A.O. du fait des techniques soustractives - [110] et de l'investissement financier important que représente un système de C.F.A.O., le prothésiste répercuterait ce coût sur le prix des restaurations conventionnelles, qui augmenterait considérablement [131]. Par conséquent, puisque la coulée des alliages précieux et non précieux est totalement maîtrisée par les techniciens de laboratoire avec leurs méthodes habituelles, autant utiliser les systèmes de C.F.A.O. avec des matériaux difficiles à mettre en forme comme le titane et surtout le zircon, pour lesquels l'intérêt apporté est réel.

2. 4. 2. La C. F. A. O. : du laboratoire...

Les possibilités d'accès à la C.F.A.O. dentaire au laboratoire de prothèse sont nombreuses : nous avons donc choisi de n'évoquer, dans cette partie, que les systèmes centralisés, c'est-à-dire ceux où 3 étapes de C.F.A.O. sur 3 se réalisent au sein du laboratoire. Le prothésiste gère toute la chaîne de production, de l'empreinte à la finition de la pièce prothétique. Les solutions externalisées, où le technicien de laboratoire délègue la C.F.A.O. à des centres de production (Procera®, Lava®, Diadem®...) [131], restent tout de même intéressantes, puisqu'elles offrent l'accès à des pièces industrielles de qualité incontestable, sans investissement financier pour le prothésiste [8].

Les systèmes centralisés dont nous parlons (Cerec InLab®, Cercon®) constituent des solutions de laboratoire parmi d'autres : la liste n'est donc pas exhaustive.

2. 4. 2. 1. Acquisition.

L'acquisition correspond à l'enregistrement en format digital de la morphologie des arcades dentaires. La collecte des données se fait via des outils qui mesurent la forme tridimensionnelle des arcades et la traduisent en données numériques [8, 110, 131]. Globalement, elle peut se faire de 2 manières au laboratoire de prothèse : par scannage optique ou par scannage mécanique des maîtres-modèles [8, 110]. Les systèmes centralisés dont nous parlons (Cerec InLab®, Cercon®) utilisent la méthode optique.

2. 4. 2. 1.1. Acquisition avec Cerec InLab.

Le système Cerec InLab de Sirona® combine son scanner laser (50µm, durée d'acquisition de 8 min, balayage de $\pm 15^\circ$ ou $\pm 45^\circ$) à sa station d'usinage, diminuant le coût de l'équipement. Il est possible d'y ajouter une unité indépendante de scannage, le scanner inEos®. Il s'agit d'une caméra 3D (capteur de surface infrarouge) qui effectue la lecture optique de tous les modèles de dents unitaires ou arcades entières en 10 secondes au maximum. Les données du maître modèle scanné sont visualisées immédiatement sur l'écran. Le scanner inEos® peut donc soit s'associer avec l'unité d'usinage inLab®, pour augmenter le rendement, soit s'utiliser en tant qu'appareil isolé, auquel cas les données obtenues au cours du balayage sont transmises au service de fabrication centralisée Infinident®, soit en combinant les deux options [122].

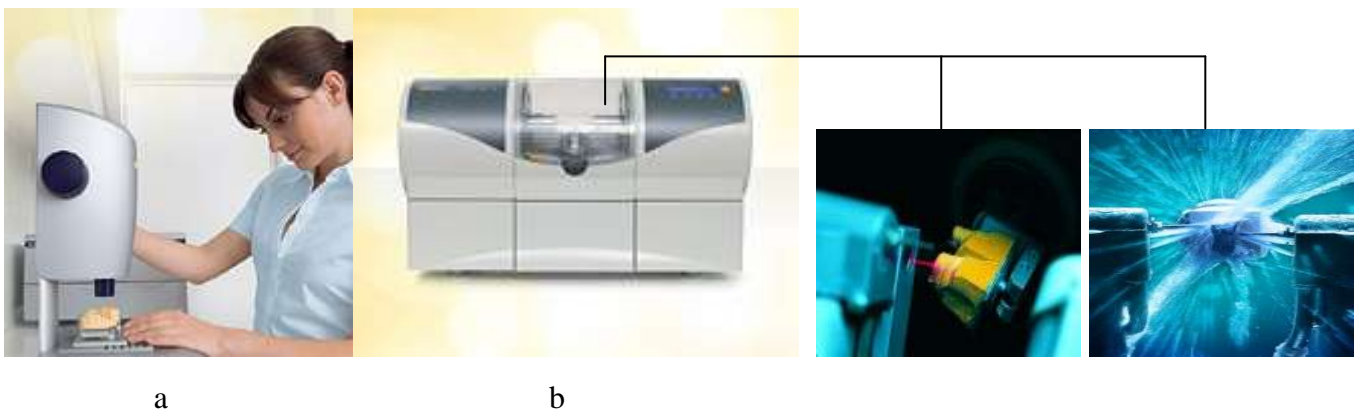


Fig. 36 a et b : Scanner InEos de Cerec® (a) et unité de scannage-usinage Cerec InLab MC XL (b) [122] http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_mcxl_174.jpg

2. 4. 2. 1. 2. Acquisition avec le Cercon® Eye.

Le système Cercon® Eye diffère du procédé habituel d'acquisition, puisqu'il peut scanner soit la préparation et ses antagonistes, soit la maquette en cire (épaisseur supérieure à 0.4 mm) réalisée par le prothésiste selon la méthode classique. La cire est spécifique au système Cercon®, à savoir qu'elle est plus résistante à l'échauffement et aux déformations. Au préalable, il faudra veiller à ce que la préparation ait une conicité supérieure à 3° voire $6-8^\circ$ pour les incisives et arrondir les arêtes et bords vifs. Les épaulements seront à angle interne arrondi. Autre

recommandation pour les restaurations antérieures, une réduction du bord incisif de 2 mm et d'au moins 1 mm pour les faces mésiale, distale et proximales. L'épaisseur de la dent ne doit pas être en dessous de 0.9 mm. Ne pas respecter ces indications remettrait en cause la précision d'acquisition. L'acquisition de la pièce se fait par laser (10 µm, durée d'acquisition de 13 sec/dent) : le rayon y est projeté et la ligne correspondante sur la pièce est enregistrée par les 2 caméras matricielles et numérisée. La surface de la pièce prothétique est alors reconstituée en une image formée de pixels. Une troisième caméra sert, dans les cas de restaurations de plus grande étendue, à enregistrer la position des différents éléments puis à les réunir en un tout [38].



Fig. 37 : Cercon Eye® de Degudent [38]
http://www.cercon-smart-ceramics.de/images/bild6_29067.jpg

Les images scannées sont ensuite visualisables sur écran en 3D. Le Cercon Eye peut être relié, via le logiciel de conception Cercon Art®, à la machine-outil Cercon Brain® ou être utilisé en réseau laboratoire/Degudent®.

2. 4. 2. 2. Conception prothétique (C.A.O.).

Une fois les modèles numérisés, les données sont traitées par des logiciels de conception, généralement spécifiques à chaque fabricant [8, 49]. Ainsi, le logiciel de conception Cercon Art® est le logiciel exclusif du système Cercon®. De même, le Cerec InLab® ne fonctionne qu'avec son logiciel dédié. Pourtant, les modes opératoires sont fondés sur des principes identiques. Dans les 2 systèmes, le prothésiste va concevoir des pièces prothétiques sur l'écran, à partir des MPU virtuels obtenus ; leur représentation est tridimensionnelle, comme si le travail s'effectuait sur de véritables modèles en plâtre [131]. Les logiciels permettent de visualiser les contre-dépouilles éventuelles, les défauts de parallélisme, voire

d'orienter l'usinage pour que les fraises travaillent dans leur meilleur axe. Les pièces prothétiques sont mises en forme virtuellement et élaborées selon des paramètres prédéfinis [8, 110].

2. 4. 2. 2. 1. Conception prothétique avec Cerec InLab.

Avec le logiciel de C.A.O. Cerec InLab®, le technicien va d'abord masquer les zones graphiques sans intérêt puis chercher à déterminer les limites de préparation. Ce bord sera indiqué soit point par point, soit automatiquement par le logiciel. Par ailleurs, le prothésiste a accès à des outils de correction de l'image en cas de bords de préparation flous, de défaut d'état de surface, etc. Mais cela ne doit pas faire oublier que la qualité de l'image sur l'écran dépend avant tout de la qualité de la préparation, de l'empreinte en bouche, de la coulée et du scannage (finesse d'acquisition) [122].

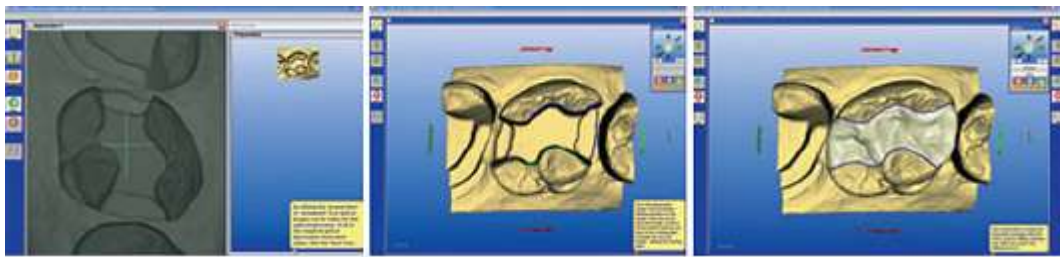


Fig. 38 : détection des limites de préparation avec le logiciel Cerec InLab [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_software_01_530.jpg

Ensuite, le logiciel détecte par lui-même le type de restauration à élaborer et propose des formes de restauration issues d'une bibliothèque. Il s'agit d'une base de données de formes anatomiques dentaires biogénériques, c'est-à-dire fondée sur les caractéristiques géométriques de plusieurs millions de dents. La recherche se fait par dichotomie jusqu'à ce que la restauration proposée corresponde en tout point à la dent et aux antagonistes. On obtient alors une face occlusale fonctionnelle et naturelle, qui pourra toujours être modifiée à volonté par le prothésiste pour l'adapter au mieux à la situation clinique : une boîte à outils virtuelle permet de changer la restauration proposée. La future pièce prothétique peut aussi être conçue symétriquement par rapport à son homonyme controlatéral. Par exemple, la morphologie d'une 36 servira de modèle - par effet miroir - à une 46 [122].

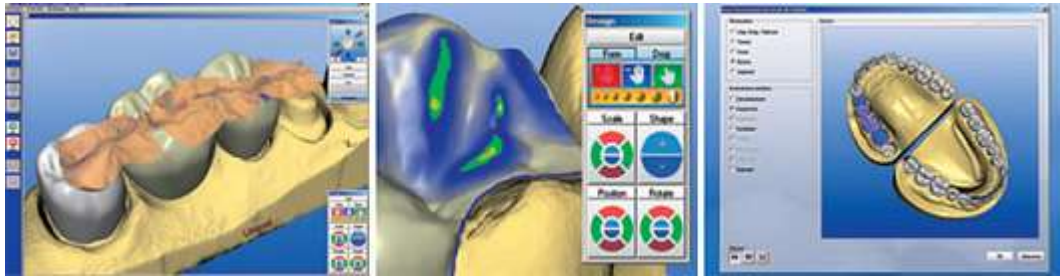


Fig. 39 : application des surfaces antagonistes virtuelles, vérification de l'occlusion avec Cerec InLab [122]

http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_inlab_software_01_530.jpg

Les points de contact occlusaux et proximaux sont visualisés par les indicateurs colorés d'un papier d'occlusion virtuel. L'étape de prévisualisation permet d'afficher la future restauration dans les 3 plans de l'espace, de vérifier l'intrados, d'effectuer une coupe virtuelle pour contrôler l'épaisseur [122].



Fig. 40 : prévisualisation de la future restauration, coupe virtuelle avec Cerec InLab [122]

http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_inlab_software_02_530.jpg

A cette étape, la forme peut encore être modifiée par les outils logiciels, jusqu'à sa validation finale. En outre, il existe une fonction « *Prévisualisation-Simulation d'usinage* » qui offre la possibilité de positionner virtuellement une restauration dans les blocs à usiner TriLuxe®.

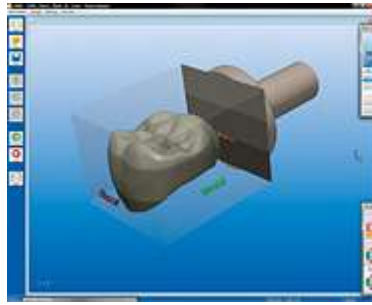


Fig. 41 : visualisation de la restauration dans le bloc TriLuxe® avec Cerec InLab [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_3d_optische_vermessung_186.jpg

Ces blocs présentent un dégradé de saturation et il peut être intéressant de choisir la position plus ou moins cervicale du collet d'une facette par exemple. La restauration apparaît à l'écran dans son bloc polychromatique en 3D et y est déplacée jusqu'à trouver la position idéale. L'usinage s'effectue alors dans cette position déterminée [122].

2. 4. 2. 2. 2. Conception avec Cercon® Art.

Le système Cercon® proposant aussi l'acquisition de maquettes en cire, l'étape de C.A.O. n'aura lieu que quand le prothésiste choisira de concevoir virtuellement ses pièces prothétiques [36].



Fig. 42 : le logiciel Cercon Art® [36] http://www.cercon-smart-ceramics.de/images/eye_30877.jpg

Dans ce cas précis, le logiciel Cercon Art® commence par rogner sur le MPU virtuel les zones graphiques non exploitées. Ensuite, il détermine automatiquement les limites de préparation. Puis le die s'affiche à l'écran et les informations concernant l'épaisseur de la chape, des travées de jonction, d'épaisseur de joint... sont choisies. D'après les données du fabricant, les épaisseurs de paroi doivent être de 0.3-0.4 mm

et les jonctions de 9 mm². Contrairement au Cerec InLab®, seule la conception d'armatures unitaires et de bridge est possible [36].

Quel que soit le système et ce, après validation, les données de la pièce prothétique conçue sont envoyées vers la machine-outil, qu'elle soit centralisée ou non. Les données sont le plus souvent stockées sous le format STL (*Standard Transformation Language*) qui permet la communication entre plusieurs marques, mais parfois les fabricants ont leur propre format, ce qui induit une incompatibilité entre systèmes [8]. Une archive de la restauration usinée peut être créée et stockée dans le dossier du patient [36].

2. 4. 2. 3. Fabrication prothétique (F.A.O.).

La validation de la pièce prothétique virtuelle lors de l'étape de conception aboutit à l'étape d'usinage, par fabrication assistée par ordinateur (F.A.O.). Les données du logiciel de conception sont converties en informations relatives à la configuration spatiale et au volume de la pièce à usiner, puis stockées par la machine-outil. Si, lors de la phase d'acquisition, il y avait une conversion analogique-numérique, ici l'inverse s'opère : on repasse du numérique aux mouvements analogiques du dispositif [8].

2. 4. 2. 3. 1. Les procédés soustractifs.

Les dispositifs de F.A.O. dentaire procèdent le plus souvent par fraisage de blocs de matériaux (zircone, titane et céramique), c'est-à-dire par soustraction [131]. Evidemment, ce procédé engendre des pertes importantes de matériau puisque c'est un bloc qui est fraisé, ainsi qu'une maintenance accrue des machines-outils (fatigue, changement des fraises...) [110]. Selon le nombre d'axe de fraisage, on distingue 3 types de systèmes [8] :

- Les systèmes à 3 axes (Cerec InLab®, Lava®, Cercon®) [37, 122, 139]; les degrés de mouvement se font dans les 3 plans de l'espace, définis par les valeurs X, Y, Z. Le fraisage d'axes divergents, convergents n'est pas possible. Les mouvements spatiaux sont donc limités et l'intérêt de tels dispositifs est le temps de fraisage court et le prix de revient plus faible. C'est donc pourquoi les systèmes à 3 axes sont largement répandus dans les laboratoires, de par leur coût moindre.

- Les systèmes à 4 axes (solution externalisée : Zeno®) [110] ; en plus des 3 axes X, Y, Z cités précédemment s'ajoute la possibilité de faire bouger le support de pièce dans l'espace (A). Le support est donc réglable.
- Les systèmes à 5 axes (solutions externalisées : Everest® de KaVo [76], Diadem®) ; le 5^{ème} axe est la rotation de la fraise d'usinage (B). Cela rend possible le fraisage de pièces complexes. KaVo avance une précision de $15 \pm 5 \mu\text{m}$ avec sa machine-outil penta-axes.

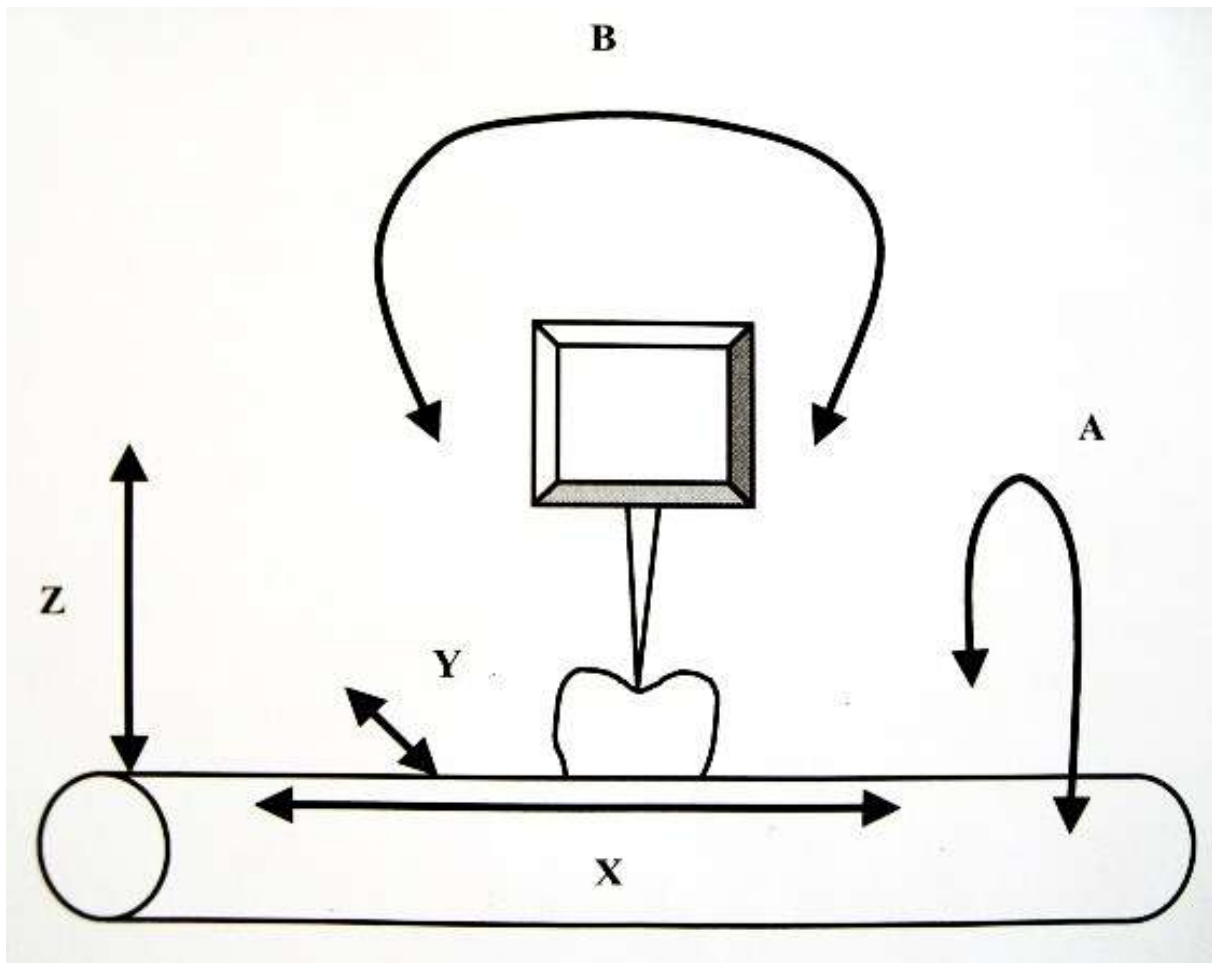


Fig. 43 : les différents axes de fraisage possibles.
3 directions dans l'espace (X, Y, Z) auxquelles se rajoutent les mouvements du support (A) et de la fraise d'usinage (B) (d'après [8])

Cependant, la qualité des restaurations n'augmente pas avec le nombre d'axes de fraisage. La qualité d'usinage est plus fonction des étapes en amont (acquisition et conception) [8].

Le fraisage peut se faire en milieu sec, essentiellement avec les blocs de zircone pré-fritté, c'est-à-dire que le zircone n'a pas encore sa densité totale. Le matériau

étant plus tendre, l'usinage est plus rapide et le dispositif de fraisage coûte moins cher. Certains dispositifs (Lava® Form et Cercon Brain®) fraisent aussi les blocs de résine en milieu sec. Pour les matériaux type céramique, zircone HIP (*Hot Isostatic Pressed*) ou métal, il est préférable que l'usinage se fasse en milieu humide. La pointe de diamant ou de carbone de la fraise est protégée par un spray de liquide froid pour éviter la surchauffe du matériau. Mais le temps d'usinage est rallongé et le coût des dispositifs augmenté (maintenance régulière, changement de pièces dû à l'usure) [8].

2. 4. 2. 3. 2. Les procédés additifs.

Parallèlement aux procédés soustractifs existent les procédés additifs (addition de matériau type résine ou cire). Encore peu répandus, ils apportent pourtant de nombreux avantages : économie réelle de matériau, rapidité de fabrication et réalisation de pièces aux géométries plus complexes [8, 110, 131]. On distingue d'une part les procédés additifs de formage libre de strates, et d'autre part les procédés additifs sur moignon [110].

Le formage libre de strates (montage par couches) permet la réalisation de maquettes physiques à partir des conceptions C.A.O., dans un matériau plastique, selon 3 modes de fabrication [137] :

A. La stéréolithographie, qui photopolymérise de la résine liquide couche par couche (*SLA*). Une résine liquide photosensible sert de matériau de base ; elle est polymérisée de façon très précise par strates successives, à l'aide d'un faisceau laser. Le mince faisceau laser écrit sur la surface du bain de résine liquide le contour de la coupe transversale à polymériser ; le laser crée ainsi localement la densité d'énergie critique nécessaire et provoque la solidification de la strate à polymériser. La couche suivante est créée de la même façon.

B. Le frittage sélectif de résine en poudre (*SLS, Selective Laser Sintering*) par faisceau laser. Ce procédé permet de générer industriellement des formes tridimensionnelles, montées par couches successives de matériaux en poudre, de différents diamètres de grains et frittibles. Durant le processus de fabrication, chaque couche appliquée est frittée à l'aide d'un faisceau laser commandé par diffusion. Un exemple : Medifactoring®, Bego. Le système Medifactoring® permet

ainsi de fabriquer dans un centre de production des armatures de prothèses fixées en titane et en alliages précieux ou non précieux.

C. L'impression 3D, par jet de gouttes (*Drop-On-Demand Inkjet*), qui se fonde sur le principe des imprimantes à jet d'encre. Le logiciel décompose le modèle 3D en un ensemble de couches élémentaires 2D correspondant à la coupe transversale. La maquette se construit par la superposition successive de couches, à partir de celle du bas, d'un matériau thermoplastique, ayant des propriétés similaires à la cire. Il est appliqué sous forme de gouttes par des micro-buses ; l'assemblage des petites gouttelettes crée la pièce. Un exemple : WaxPro® par la société Cynovad (Dijon, France) [33].

Ainsi, les procédés additifs de formage libre de strates (pré)fabriquent des pièces de prothèse dentaire en résine photosensible, qui seront ensuite coulées dans un alliage de choix, selon la technique conventionnelle [110, 137].

Les procédés additifs sur moignon, comme leur nom l'indique, créent des pièces prothétiques par des techniques additives sur des répliques de moignons. Il existe 2 systèmes de C.F.A.O. utilisant ce procédé : Procera AllCeram®, de Nobel Biocare (compactage d'oxyde d'alumine sur la réplique de moignon, sous haute pression ; fraisage de l'extrados de la chape ; frittage) et Wolceram®, de Rotec (dépôt de barbotine de céramique In-Ceram Alumina®, In-Ceram Zirconia® de Vita par électrophorèse, directement sur la réplique de moignon) [98, 60, 110].

Ces systèmes permettent donc de réaliser des chapes et armatures entièrement céramiques.

Les 2 solutions de C.F.A.O. centralisée au laboratoire dont nous parlerons ici - Cerec InLab® [122] et Cercon® Brain [37] - procèdent par soustraction de blocs, avec des systèmes à 3 axes.

2. 4. 2. 3. 3. Fabrication avec Cerec InLab.

Le Cerec InLab® propose toujours le plus petit bloc d'usinage possible pour limiter les pertes de matériau. Selon la sélection, il est aussi permis d'usiner plusieurs restaurations dans un grand bloc. Le bloc choisi est placé dans la chambre d'usinage et le processus de fabrication peut être lancé. Les restaurations sont usinées avec une taille supérieure de 20 à 25 %, rectifiées manuellement puis réduites par frittage.

Les indications de rétractation du matériau sont inscrites sur le code-barre du bloc et lues automatiquement avant usinage pour être mémorisées. La pièce prothétique s'adaptera donc parfaitement aux contours de la préparation [122].

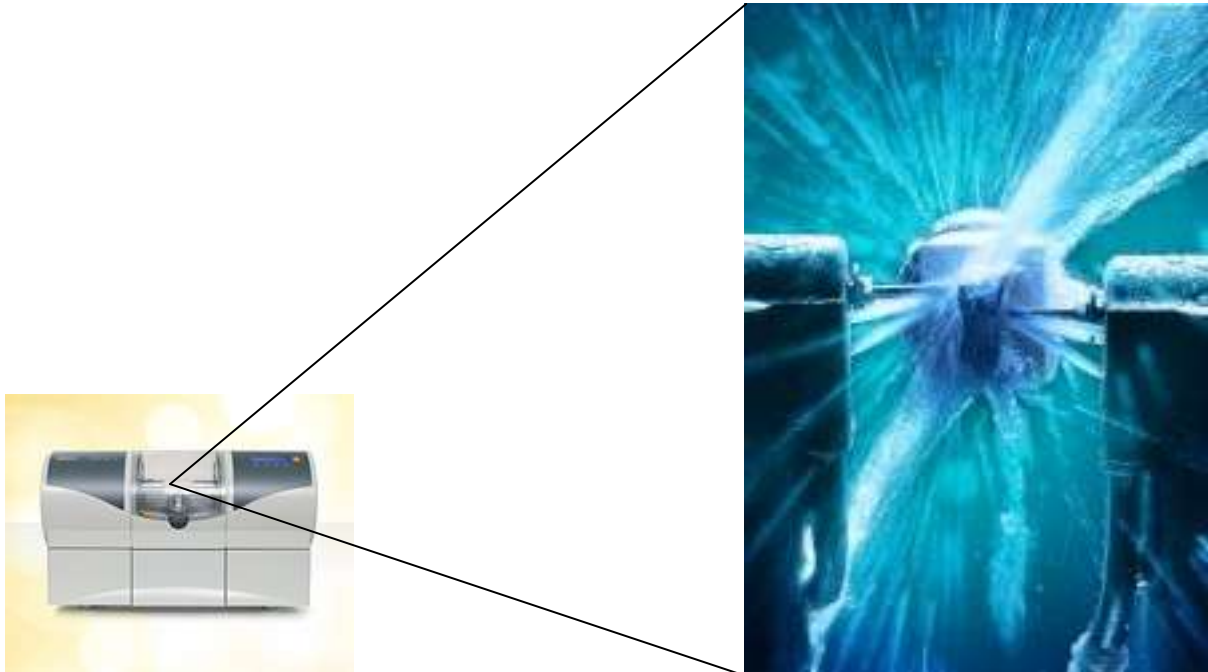


Fig. 44 : station d'usinage Cerec InLab MCXL® [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_mcxl_174.jpg

2. 4. 2. 3. 4. Fabrication avec Cercon® Brain.

Pour le Cercon®, 2 cas sont à distinguer. Soit c'est la dent préparée qui a été scannée, ce qui donnera lieu aux étapes de C.A.O., puis de F.A.O. ; soit c'est la maquette en cire du prothésiste, dans quel cas il n'y a pas d'étape de C.A.O. et le fraisage s'effectue quasi simultanément avec l'acquisition dans le Cercon Brain® [37].



Fig. 45 : station d'usinage Cercon Brain® [37] http://www.cercon-smart-ceramics.de/images/brain_29072.jpg

Quelle que soit la situation, le Cercon Brain® réalise toujours le fraisage en 2 temps : un premier dégrossissage de l'armature, puis une finition de la pièce. Cette dernière sera au final surdimensionnée de 30%, compte-tenu du traitement thermique de vitrification à 1350°C qui s'ensuivra pendant 6 heures. Après quoi, il sera possible de monter la céramique (Cercon Ceram Kiss®) sur l'armature [37].

Dans les 2 cas, la pièce usinée, à sa sortie de la machine, sera décontaminée du liquide de fraisage. Un contrôle de l'épaisseur, de l'insertion, de la mise en forme sera aussi effectué [8].

2. 4. 2. 4. Indications et conséquences cliniques.

La C.F.A.O. est principalement utilisée en prothèse fixée, que ce soit des pièces prothétiques définitives ou temporaires ou des maquettes en cire [110, 131] :

- wax-up,
- restaurations de temporisation,
- armatures unitaires ou de bridge,
- facettes,
- inlays-onlays,
- restaurations d'usage,
- piliers implantaires.

Tous les domaines de la prothèse conjointe sont donc explorés. Cependant, la production de certaines pièces comme les piliers implantaires titane restera externe au laboratoire de prothèse car adressée à des centres de production [122].

2. 4. 2. 4. 1. Wax-up.

Le système WaxPro® de Cynovad® permet d'imprimer des wax-up en cire calcifiable à partir de leur conception virtuelle sur le logiciel dédié NeoDesign®. L'impression des maquettes se fait par prototypage rapide par jet de gouttes (*Drop-On-Demand Inkjet*) et la capacité de production est d'environ 30 éléments en 2h. Le système WaxPro® est disponible en tant que solution de production en laboratoire ou bien de production externalisée [33, 110].



Fig. 46 : imprimante WaxPro® de Cynovad® (à g.) et les maquettes en cire réalisées [33]

Un autre système de modélisation, le 3D InVision® DP, a été spécialement conçu pour les laboratoires dentaires par la société 3D Systems® (Valencia, Californie). A l'origine axée vers des secteurs tels que l'aéronautique ou la bijouterie, cette société a permis aux prothésistes de bénéficier de la C.F.A.O. industrielle ; le système de modélisation 3D InVision® DP se compose du scanner laser 3D InVision®, du logiciel InVision® DP et du modelleur (ou imprimante) 3D InVision® DP. Comme dans tout système de C.F.A.O., les données numérisées par le scanner sont traitées par le logiciel de conception et envoyées à l'imprimante [1].

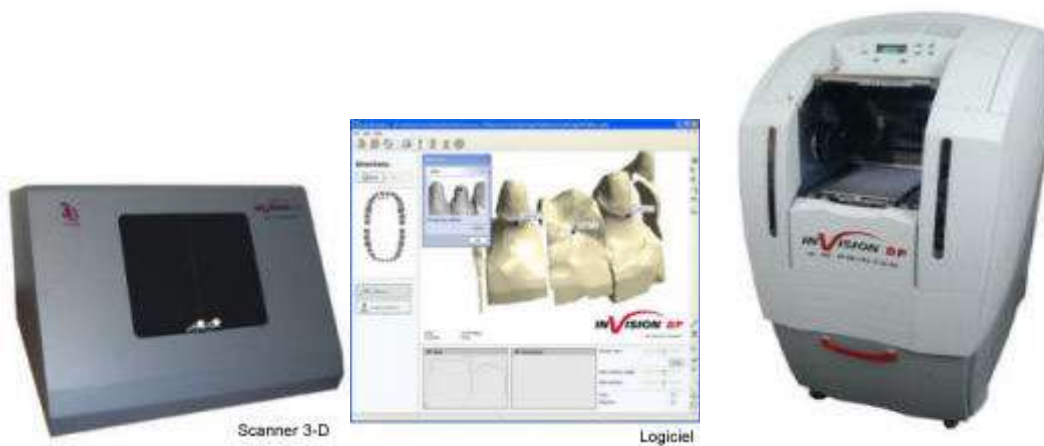


Fig. 47 : de gauche à droite, le scanner 3D InVision® ; le logiciel 3D InVision® DP ; le modelleur 3D InVision® DP par la société 3D Systems®[1]
http://www.3dsystems.com/french/images/products/3dm/invisionDP/InVision_DP_software_screen_fr.jpg

Cette dernière imprime des wax-ups à partir d'une résine photosensible et peut fabriquer jusqu'à 100 unités par cycle [1].



Fig. 48 : wax-ups en résine photosensible [1]

http://www.3dsystems.com/french/images/products/3dm/invisionDP/InVision_DP_platform_multi.jpg

L'avantage essentiel de ce système est qu'il est ouvert, c'est-à-dire que son logiciel peut exporter les informations vers tout autre type d'équipement de production, contrairement aux systèmes conçus par et pour les spécialistes dentaires [1, 49].

2. 4. 2. 4. 2. Prothèse fixée.

En ce qui concerne les couronnes, inlays-onlays, facettes et restaurations temporaires, tous peuvent être produits au sein du même laboratoire et par le même système de C.F.A.O. En effet, de plus en plus de fabricants proposent des solutions complètes pour les prothésistes, capables de couvrir un large éventail de pièces prothétiques et plus seulement la réalisation d'armatures en oxyde zirconium [110]. Les étapes sont donc toujours les mêmes - acquisition, conception et fabrication -, mais seul le matériau à usiner change. Contrairement au Cercon® qui ne propose que la réalisation de chapes unitaires ou plurales, le système Cerec InLab® de Sirona®, couvre une importante gamme d'indications : couronnes monocéramiques, inlays-onlays et facettes (céramiques feldspathiques ou vitrocéramiques VITA®, IPS e.max CAD®, VITA TriLuxe®, IPS Empress CAD Multi®), restaurations plastiques et provisoires (polymères VITA CAD-Temp® ou Artegral imCrown®). Le choix du bloc est fait en fonction des caractéristiques que l'on veut donner à la pièce prothétique (propriétés optiques, mécaniques...) [122].



Fig. 49 : différents blocs de matériaux (VITA, Ivoclar Vivadent, Sirona, Merz) utilisables avec le Cerec InLab® [122]

http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_inlab_materialien_363.jpg

Les chapes et armatures de bridges céramiques sont également réalisables avec le Cerec InLab® ; une fois le matériau choisi (zircone, alumine, di-silicate de lithium), le logiciel inLab 3D calcule automatiquement les zones de jonction nécessaires. Pour réaliser des chapes et armatures de bridges métalliques, il faudra d'abord usiner des matières plastiques totalement calcinables - blocs VITA CAD Waxx® - dans les machines inLab®, puis couler ces pièces de manière conventionnelle, avec l'alliage de choix [8, 122].

Enfin, le Cerec InLab® permet de réaliser au laboratoire des guides implantaires, type bridges anatomiques en VITA CAD-Waxx® dans lesquels est intégré un élément de guidage [122].

Il offre aussi la possibilité de scanner toutes sortes de modèles en cire confectionnés par le prothésiste puis de les usiner dans un matériau (zircone, alumine, céramique, résine...). Toutes les options sont possibles : attachement simple, attachement de précision avec fraisage périphérique ou attelles, etc.. [122].

La production de piliers implantaires en titane ou oxyde de zirconium reste, en revanche, externalisée. Dans un premier temps, la modélisation de la structure est faite à l'aide du logiciel de C.A.O. *Abutment 3D* d'InLab 3D® au laboratoire dentaire, à partir d'un modèle en plâtre numérisé ou d'une empreinte optique (caméra de mesure Cerec 3D®) envoyée, via Internet, par le praticien. L'étape de fabrication est ensuite transférée à un centre de production spécialisé, par exemple Infinident® pour les structures C.A.O./F.A.O. personnalisées CARES du Straumann® Dental Implant System. La structure commandée parvient au laboratoire dentaire en l'espace de quelques jours ouvrables et la restauration de la prothèse implantaire est achevée au laboratoire dentaire [122].

Utilisée avec succès pour la prothèse fixée, la C.F.A.O. dentaire s'est élargie à d'autres domaines comme la prothèse amovible ou maxillo-faciale.

2. 4. 2. 4. 3. Prothèse amovible.

Les spécialistes de la prothèse amovible attendaient en vain un système qui leur permettrait d'accéder aux réalisations assistées par ordinateur. Né en 2003 et proposé fin 2007 par Henry Schein®, le système Digistell®, du groupe français Digilea®, répond à leurs attentes [42]. Il se veut être le premier système de C.F.A.O. pour la conception de châssis métalliques. Il permet l'impression d'une armature en matériau calcinable en 14 étapes [42, 96] :

- Numérisation en 3D du modèle,
- Détermination de l'axe de l'insertion,
- Détection par le logiciel des zones de contre-dépouille et comblement automatique,
- Détermination de l'emplacement des crochets,
- Création des zones de décharges pour les grilles de rétention,
- Tracé des crochets et potences,
- Dessin du châssis,
- Silhouette du châssis,
- Application du granité palatin,
- Création des grilles de rétention,
- Retouche du châssis : lissage, correction de l'épaisseur, mise en place des tiges de coulée,
- Envoi du stellite à l'unité de production (interne ou externe),
- châssis imprimé en résine,
- puis coulé.

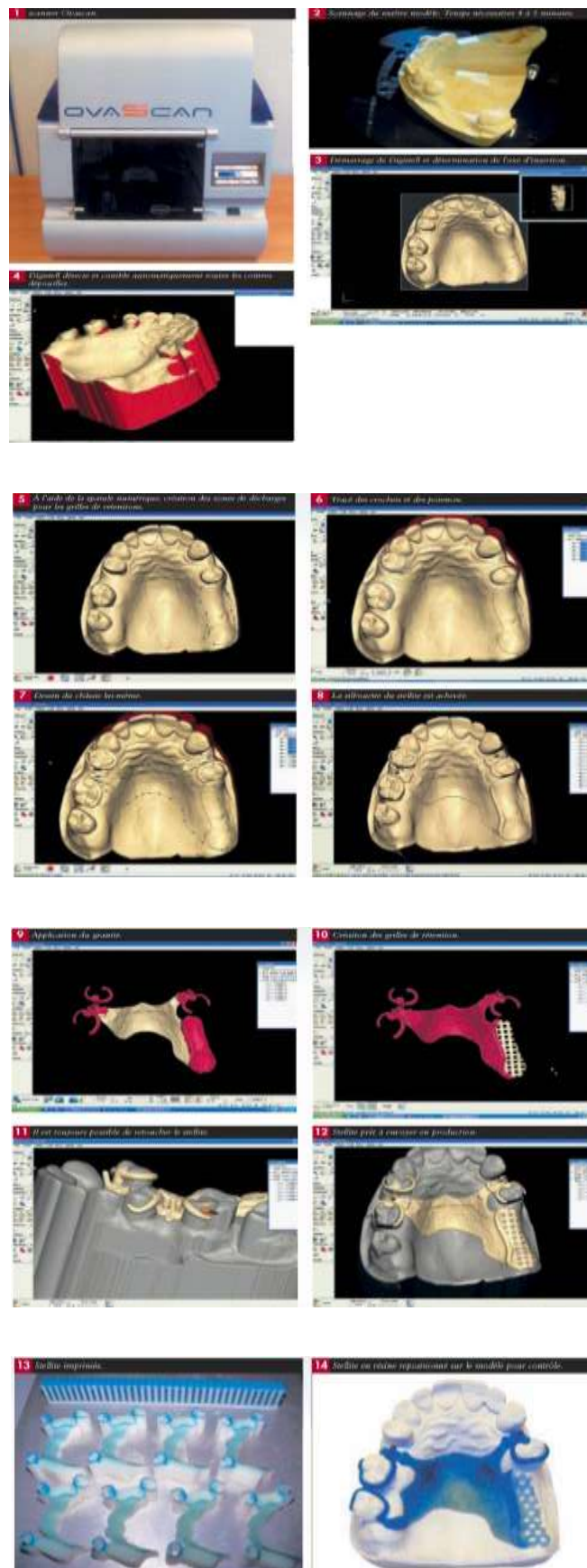


Fig. 50 : les 14 étapes nécessaires à la réalisation d'un châssis par le système Digistell® [96]

Si Digistell® permet au technicien de s'affranchir de certaines tâches, comme la préparation des modèles, la duplication et l'utilisation de préformes en cires, il n'est en aucun cas une aide à la conception. Il s'adresse de ce fait à des prothésistes qualifiés capables d'en assurer la conception et le tracé. La production peut être effectuée au laboratoire avec une imprimante 3D, ou par un centre de production externe [96].

Les arguments avancés par le fabricant sont séduisants : réduction des coûts de production (pas de cire, pas de duplicata), gain de temps de 50%, système ouvert (format STL) [42]... Malgré tout, Digistell® est encore peu répandu dans les laboratoires de prothèses. Actuellement, un unique article y fait référence. Il est donc difficile d'obtenir des informations objectives, compte-tenu des seules sources publicitaires. La prothèse amovible réalisée par C.F.A.O. reste donc marginale [131].

2. 4. 2. 4. Prothèse maxillo-faciale.

Les réhabilitations prothétiques en chirurgie maxillo-faciale ont aussi bénéficié des nouveaux concepts de fabrication par C.F.A.O. [133]. En effet, l'amélioration des techniques d'imagerie - scanner, IRM - et d'informatique permet désormais de travailler les images tomodensitométriques et d'effectuer des reconstructions virtuelles tridimensionnelles des structures anatomiques. Des logiciels comme C2000 ou AMIRA spécifiques du traitement de l'image, analysent et segmentent les images scanners pour obtenir des reconstructions surfaciques (e.g. perte de substance nasale) ou volumique 3D (dans le cas d'une communication bucco-nasale par exemple). Une fois la reconstruction anatomique 3D réalisée, le fichier est exporté vers un logiciel de simulation, afin de modéliser la future prothèse. C'est l'étape de C.A.O.. Après validation de la conception, les données sont envoyées vers la machine de prototypage rapide pour l'étape de F.A.O.. Il est important de signaler qu'ici, tous les systèmes sont ouverts : les formats sont standards, non dépendants d'un fabricant. La prothèse maxillo-faciale est fabriquée en cire par le procédé *Drop-On-Demand Inkjet*. Ensuite, cette maquette est essayée et adaptée sur le patient puis transformée en silicone selon la technique de la cire perdue. Les finitions sont réalisées de manière conventionnelle [133].

Ce concept de fabrication par C.F.A.O. a de nombreux avantages, parmi lesquels l'absence de prise d'empreinte - souvent difficile en PMF -, l'absence de moulage et donc d'erreurs inhérentes à la manipulation humaine, et la sauvegarde des données au cas où une nouvelle prothèse devrait être réalisée. En outre, les modeleurs graphiques offrent la possibilité au patient de prendre part au choix de sa future épithèse en lui proposant différentes simulations. La réhabilitation prothétique se trouve globalement facilitée et la qualité du travail améliorée [133].

En conclusion, on peut dire que l'arrivée de la C.F.A.O. dans les laboratoires de prothèses dentaires a contribué à leur amélioration, tant sur le plan biologique, esthétique que sur celui de la précision et de la traçabilité. Les contraintes de forme de préparation qui étaient nombreuses au début de la C.F.A.O. dentaire ont pratiquement disparu, même s'il est toujours recommandé d'éviter les arêtes vives et les anfractuosités qui pénalisent l'étape de scannage [8, 41, 139]. Quant à l'assemblage des infrastructures zircone sur pilier dentaire ou implantaire, il se fait avec les ciments traditionnels ou préférentiellement des CVIMAR [106, 131].

Par conséquent, le praticien bénéficie de pièces prothétiques d'une qualité incontestable en modifiant peu ou pas ses habitudes. Mais cela risque de ne pas durer : les avancées informatiques, qui tendent à généraliser l'empreinte optique endo-buccale au cabinet dentaire, vont bientôt bouleverser les habitudes des Chirurgiens Dentistes.

2. 4. 3. ... au cabinet dentaire : le Cerec 3D®.

2. 4. 3. 1. Acquisition.

Ce thème a déjà été traité dans le paragraphe 2. 3. 3. 1., *Caméra de mesure Cerec 3D®*.

2. 4. 3. 2. Conception prothétique.

Elle est comparable au système de C.F.A.O. Cerec InLab® vu précédemment. En effet, ce dernier est une amélioration du Cerec 3D® adaptée aux exigences des laboratoires de prothèse [91]. Même si les indications sont plus réduites - couronnes, facettes, inlays-onlays -[110], la marche à suivre est pratiquement la même.

Après l'acquisition des images de la préparation et leur validation par le praticien, celles-ci sont enregistrées dans le *Catalogue d'images* ; l'étape de conception peut alors commencer. L'empreinte optique apparaît dans le *Viewer 3D* (fenêtre pour la visualisation et la construction en 3 dimensions) [122].



Fig. 51 : empreinte optique visualisée dans le Viewer 3D de Cerec 3 [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_3d_optische_vermessung_186.jpgD@

Avant de déterminer les limites de préparation, l'image peut être modifiée en masquant provisoirement des parties graphiques inutiles, en effaçant ou corrigeant définitivement des zones d'images (taches de poudre, surfaces irrégulières à lisser...). Ensuite, l'indication du bord de la préparation peut commencer : le curseur de la souris est placé à un endroit quelconque de la limite et, après un double-clic, le tracé commence. La flèche de la souris suit la limite jusqu'à retrouver le point de départ. La limite de la préparation s'affiche en bleu [122].

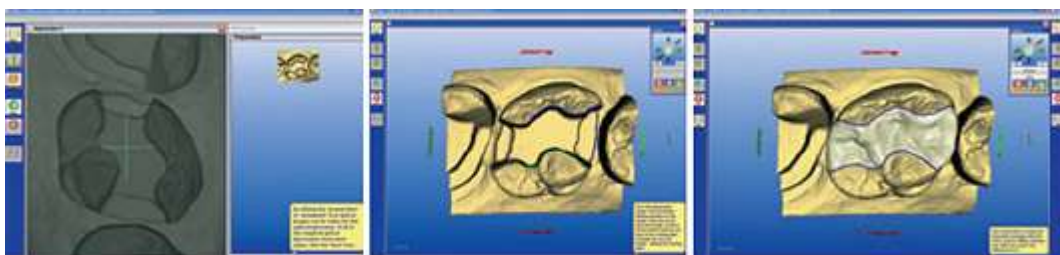


Fig. 52 : détermination des limites de préparation avec Cerec 3D®[122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_software_01_530.jpg

L'activation du mode de détection automatique des limites entraîne la correction immédiate du tracé : en cas de déviation du tracé, celui-ci n'apparaît plus bleu mais blanc.

Le système lance ensuite le processus de reconstitution biogénérique pour reconstituer la dent manquante. Jusqu'à présent, le logiciel recourait à des modèles de dents stockés dans une base de données en s'appuyant sur quelques caractéristiques, et les ajustait à la préparation. La nouvelle version Cerec 3D® propose des restaurations basées sur des mesures anatomiques et géométriques de milliers de dents naturelles. La restauration virtuelle s'intègre alors parfaitement à la préparation, s'ajuste aux dents voisines et à l'enregistrement optique de l'occlusion. Les contacts occlusaux et proximaux sont visualisables par un schéma de couleur marquant l'intensité plus ou moins grande des contacts : bleu (0-1mm de distance), vert (0-50µm de pénétration) , jaune (50-100µm de pénétration) et rouge (>100µm) [122].

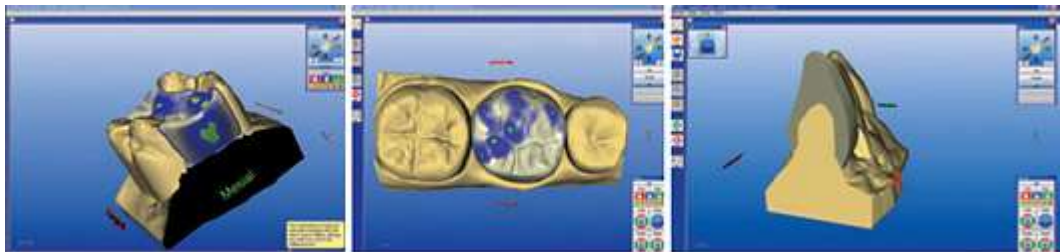


Fig. 53 : vérification des points de contact occlusaux et inter proximaux ;
vérification de l'épaisseur par coupe virtuelle longitudinale avec Cerec
3D®[122]

http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_software_02_530.jpg

A ce moment, l'opérateur peut modifier lui-même la restauration proposée à l'aide de la palette d'outils ; la surface sera alors retouchée par ajout de matériau « goutte à goutte » (bouton *Drop*) ou par déformation (bouton *Scale*).

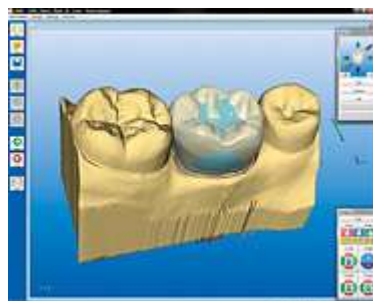


Fig. 54 : modification de la restauration à l'aide de la palette d'outils de Cerec 3D®[122]

http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_3d_optische_vermessung_186.jpg

La pièce prothétique peut être déplacée (bouton *Position* ou *Rotate*) et même coupée : l'outil *Cut* trace un plan de coupe parallèle au plan de l'écran, à travers la

restauration et la préparation. Le déplacement parallèle du plan de coupe s'effectue alors sur toute la largeur de la restauration, permettant d'apprécier son épaisseur [122].

Une fois ces retouches effectuées, il ne reste plus qu'à usiner la pièce prothétique préparée virtuellement.

2. 4. 3. 3. Fabrication prothétique.

Lorsque la construction virtuelle de la pièce est terminée et avant de lancer l'usinage, il est possible d'activer la *Simulation d'usinage*. La restauration s'affiche dans le *Viewer* telle qu'elle sera usinée. Les endroits trop minces de la préparation apparaissent en rouge ; il est alors toujours temps de corriger la restauration en retournant au mode *Construction* [122].

Après validation finale, le programme *Usiner* est lancé : le système propose alors le bloc de matériau le plus petit possible, que l'opérateur choisira dans la teinte donnée. Le bloc est fixé dans la chambre d'usinage, sa porte est ensuite refermée et l'usinage peut commencer : les instruments de fraisage sont automatiquement calibrés et leur durée de vie restante estimée (fraises diamantées). La machine-outil, tri-axe, effectue le travail en une vingtaine de minutes, avec une précision de 7 μm . Le temps est décompté seconde par seconde, indiquant à tout moment à l'opérateur la durée restante [122].



Fig. 55 : la station d'usinage Cerec 3D [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_3_174.jpg

2. 4. 3. 4. Indications et conséquences cliniques.

Le Cerec 3D® offre la possibilité d'avoir des restaurations type inlays-onlays, couronnes et facettes en 1 heure au fauteuil. Le fait qu'une restauration esthétique puisse être posée en un seul rendez-vous est très appréciable, non seulement pour le praticien mais aussi pour le patient [3, 29, 31]. Pour le premier, supprimer les étapes de la couronne provisoire et donc de sa dépose voire de son éventuelle perte en inter-séance, des matériaux d'empreinte, des cires, avoir le contrôle total de la pièce prothétique, depuis sa conception virtuelle jusqu'à son maquillage diminue potentiellement les inexactitudes qui peuvent survenir au laboratoire de prothèse. Si la méthode Cerec séduit tant, c'est parce qu'elle associe les avantages de la céramique à ceux d'un traitement en une séance. La suppression de l'étape et des frais de laboratoire, la maîtrise de l'ensemble des étapes, l'obtention de couronnes esthétiques (utilisation de colorants pour l'individualisation et le glaçage de la couronne par le Chirurgien Dentiste lui-même) sont synonymes de réduction de stress, de plaisir de travailler et d'amélioration de la gestion [29, 31, 110, 129].

Pour le patient, l'absence d'empreinte - souvent redoutée -, de provisoire, d'anesthésies répétées lors de réalisation de pièces prothétiques sur dents vivantes et l'économie de séances sont des éléments appréciables. L'obtention d'une restauration tout céramique et esthétique en 1 heure donne la sensation au patient de ne pas avoir eu de soin prothétique [129].

Pour les inconvénients, on notera surtout la difficulté à s'adapter au système. Il nécessite un apprentissage (2 jours d'entraînement au moins) puis une période de rodage d'environ 20 à 30 restaurations, auxquels il faut rajouter une remise en cause de ses techniques habituelles et de l'organisation du cabinet. Par conséquent, il faudra faire preuve d'une motivation et d'une volonté certaine avant de se lancer dans l'achat d'un matériel de C.F.A.O. au fauteuil [3, 129]. L'autre aspect négatif du Cerec 3D est son coût. Coût pour le praticien (environ 80 000 € à l'achat, puis frais des fournitures : fraises, poudre de *coating*, blocs, lubrifiants...) [29, 129]. Enfin, quelques inconvénients tels que le collage - qui doit être maîtrisé par le praticien puisque les restaurations Cerec ne se scellent pas -, ou la durée du rendez-vous - 1 heure, difficile pour certains patients - sont à noter [29].

Et du côté des résultats cliniques, qu'en est-il réellement ? Plusieurs études cliniques répondent à cette question : les inlays, onlays, couronnes et facettes Cerec® égalent les reconstitutions traditionnelles et sont même supérieures à certains égards. Avec plus de 20 ans d'expérience clinique, il est un des systèmes les plus étudiés dans le secteur dentaire [31, 110, 122]. Ainsi, l'étude à long terme de Reiss et Walther (2000) sur la durabilité de 1011 restaurations Cerec® posées au fauteuil chez 299 patients a montré que la probabilité de succès sur 10 ans était de 90%. Intéressés par le même sujet, Otto et De Nisco (2003) ont observé pendant 10 ans le comportement de 187 restaurations Cerec 1® et constaté une probabilité de survie de 95%. Des études cliniques à 15 ans attestent des bons résultats remportés par les restaurations Cerec, puisque le taux de survie est supérieur à 90% (estimation de la survie par la méthode de Kaplan-Meier) [91, 122].

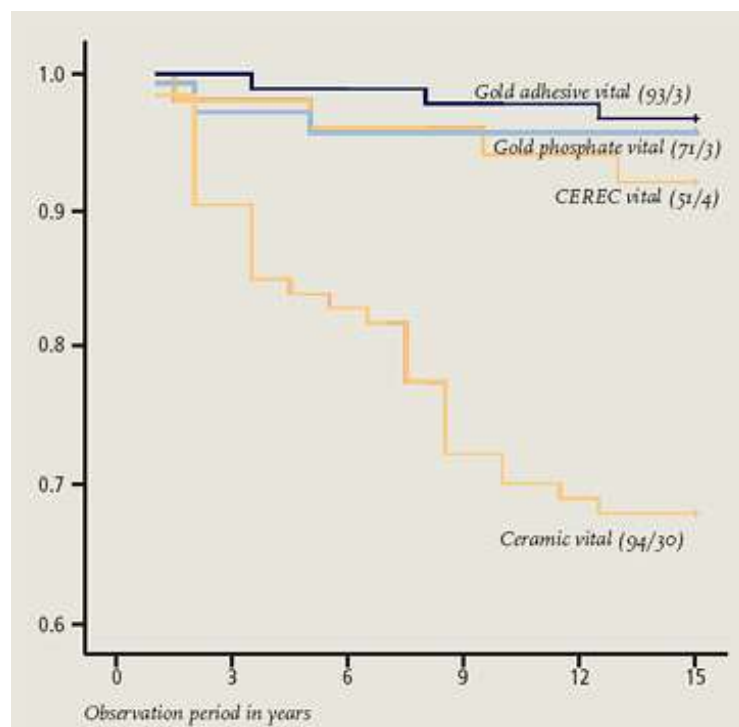


Fig. 56 : taux de survie de diverses techniques de restauration [122]
http://www.sirona.fr/ecomaXL/get_blob.php?name=pi_cerec_clinical_studies_1_4_1.jpg

2. 5. Perspectives d'avenir.

2. 5. 1. Pour le praticien et son cabinet.

2. 5. 1. 1. Le cabinet du futur.

Le cabinet dentaire de demain devra d'abord répondre à un cahier des charges élargi, du fait du développement des nouvelles techniques [23]. En effet, il faudra prendre en considération leur cortège de câbles d'alimentation et de supports, souvent en contradiction avec l'ergonomie et l'hygiène d'une salle de soins [4]. Certes, les nouvelles technologies permettent d'améliorer la pertinence des diagnostics et la précision des gestes pour, au final, offrir des traitements de qualité aux patients [3, 22]. Mais leur intégration au cabinet en un outil efficace et ergonomique n'est pas chose aisée. Leur utilisation ne sera pratique que si leur mise en place dans la salle de soins a bien été réalisée. Une conception claire du cabinet en amont de l'installation de ces nouvelles techniques (dimensionnement des pièces, création de zones techniques, de faux plafonds et de gaines...) permettra de répondre aux obligations légales et de respecter les notions d'hygiène et d'ergonomie [12, 23, 26].

Car, dans l'avenir, l'informatique évoluera d'un périmètre purement diagnostic à celui d'une véritable colonne vertébrale de l'organisation du cabinet dentaire : gestion, traçabilité, imagerie, empreintes numériques, communication avec le patient... tout sera lié [115]. Il sera donc indispensable de prévoir un réseau de câbles intégré et adapté à une utilisation fonctionnelle. L'informatique fait partie des éléments « nouveaux » de notre environnement professionnel ; par conséquent, cela remodèle en profondeur l'espace de travail [23]. Ne pas en tenir compte constituerait une grosse erreur : les innovations *high-tech* ayant envahi tous les domaines de notre société et faisant désormais partie du paysage de la vie quotidienne, les patients comprendraient mal que leur praticien ne suive pas les évolutions techniques [12, 26].

2. 5. 1. 2. Se poser les bonnes questions avant d'investir.

Il faut d'abord se poser la question de l'utilité de toute nouvelle technique avant de s'encombrer de matériel qui, en réalité, ne s'avère pas indispensable au cabinet [4]. Il faudra aussi s'interroger sur sa capacité, en tant que praticien, à modifier ses

habitudes cliniques et à accepter des temps d'apprentissage et d'adaptation parfois longs. Beaucoup pensent qu'il est encore possible d'appliquer des recettes passées à une situation actuelle différente, c'est-à-dire de suivre l'évolution de la profession en conservant une vision d'hier [3, 11] . Un exemple : la C.F.A.O. au fauteuil. Nombre de praticien sont séduits par la possibilité de préparer une dent, d'enregistrer cette même préparation, de contrôler la réalisation de la pièce prothétique dans sa totalité et d'effectuer sa pose, le tout en un seul rendez-vous [3, 29, 31]. Malheureusement, c'est oublier la durée d'apprentissage, qui peut prendre plusieurs mois avant d'arriver à une pratique confortable. Il en résulte alors une période de frustration, durant laquelle les praticiens ne constatent ni les retombées financières, ni le gain de temps promis par le concept. Avant d'envisager l'intégration de la C.F.A.O. dans son cabinet, le Chirurgien Dentiste doit donc évaluer [29, 129] :

- sa motivation à s'engager, lui et son équipe, dans un apprentissage parfois long ;
- sa volonté à remettre en cause son organisation et à s'adapter à des rendez-vous uniques pour la prothèse conjointe ;
- sa patience, avant d'atteindre les retours financiers promis.

Enfin, plus généralement, il faut prendre en considération la maintenance de ces nouvelles technologies. Développées pour nous faire gagner du temps, elles peuvent aussi mettre le cabinet dentaire dans une situation critique quand elles ne fonctionnent plus. La plupart des praticiens sont impuissants devant les problèmes et, bien souvent, quand le système informatique est en panne, le cabinet est lui aussi en panne [22, 28, 115]. Il est nécessaire également de tenir compte du coût de la maintenance, proportionnel à la sophistication du produit. [29, 129]

2. 5. 2. Pour le prothésiste.

2. 5. 2. 1. De nouvelles relations praticien-prothésiste.

Chirurgiens Dentistes et prothésistes sont dépendants les uns des autres ; le prothésiste s'assimile à un véritable co-équipier du praticien, une personne qui participe à la réussite du travail clinique et qui peut aider le Chirurgien Dentiste à trouver des réponses en cas d'échec dans la réalisation prothétique. Cette relation - le plus souvent téléphonique ou sur fiche de liaison - est vecteur de formation et d'échange de connaissances mutuelles. Ainsi, une communication claire et précise,

basée sur le respect et la confiance mutuels, représente la clé de voûte de la relation praticien-prothésiste. Mais qu'en sera-t-il dans les années à venir [77] ?

Il semble que cette relation va être profondément bouleversée par le développement des NTIC [20, 49, 77]. Si les fiches de liaisons et les appels téléphoniques restent actuellement encore les moyens de communication les plus répandus (respectivement 98% et 92%), Internet est en plein essor : plus de 20% des praticiens interrogés dans une étude de 2006 l'utilisaient déjà [77]. Certes, ce nouveau moyen de communication praticien-prothésiste nécessite un investissement matériel et des garanties suffisantes de sécurité (serveur par exemple) [5, 77] ; mais en offrant la possibilité de transmettre photographies, relevés de couleur voire vidéos et empreintes numériques au prothésiste, la qualité du travail effectué par le laboratoire augmente [77, 101]. Plus la quantité d'informations fournies par le praticien est importante, meilleurs sont les résultats du travail prothétique. Pour résumer : la qualité de la relation influe sur la qualité de la communication et du passage de l'information, qui se répercutent sur la qualité du travail et donc, de la relation.

On peut donc dire que l'apport de ces nouvelles techniques est un plus dans la qualité de la relation praticien-prothésiste. *A fortiori*, elles apportent plus d'objectivité au travail prothétique (données numériques, spectrophotomètres/colorimètres, etc.) [78, 101]. Mais cela laisse aussi supposer une perte des contacts humains, avec moins de déplacements et de rencontres praticien-prothésiste. Il y a 50 ans, la structure de laboratoire de prothèse était intégrée au cabinet dentaire ; aujourd'hui, pour des raisons économiques, de réglementation et d'hyperspécialisation des prothésistes, c'est exceptionnel [77]. Le laboratoire s'éloigne de plus en plus du cabinet... Va-t-on vers une disparition des prothésistes ?

2. 5. 2. 2. Prothésiste dentaire : une profession en voie de disparition ?

Il est vrai que la C.F.A.O., à première vue, pourrait faire peur à la profession. Surtout les machines-outils type Cerec 3D® et, bientôt sur le marché, E4D® où le praticien maîtrise toute la chaîne prothétique [31, 49, 50]. Mais cette pratique est-elle réellement compatible avec l'exercice quotidien du Chirurgien Dentiste ? A vrai dire, non. Car les indications de la C.F.A.O. au fauteuil restent limitées (couronnes, inlays/onlays, facettes) [29, 31, 129], et que ses résultats esthétiques, du fait du

maquillage de surface, sont moins bons que ceux obtenus par la méthode traditionnelle [129]. Le sens artistique du prothésiste sera toujours nécessaire pour les reconstitutions à visée esthétique.

De plus, tous les autres procédés de C.F.A.O. - Cerec InLab®, Cercon®, Procera®, Everest®, Pro 50®,... - nécessitent à un moment ou un autre l'intervention d'un technicien de laboratoire (coulée, détourage, maquette en matériau calcinable pour le système Cercon®, scannage, C.A.O., ou encore montage de la céramique sur les chapes) [49, 110, 131] et demandent une formation particulière. Et, compte-tenu de leur complexité croissante, on voit mal comment les Chirurgiens Dentistes pourraient assurer à eux-seuls tout le processus de C.F.A.O. et se passer de prothésistes. [96] Enfin, d'importants progrès restent à faire pour la conception et la fabrication assistées par ordinateur des prothèses amovibles ; ces dernières sont toujours fabriquées au laboratoire selon la méthode traditionnelle de la coulée. Le prothésiste s'avère donc toujours indispensable.

Pour conclure, on pourrait dire que la profession de prothésiste dentaire n'est pas en train de disparaître mais plutôt de se réorienter. Continuer à travailler avec les techniques classiques sans tenir compte des avancées apportées par la C.F.A.O. serait une impasse [8] ; aujourd'hui, le prothésiste dentaire se doit de s'adapter à ces nouvelles technologies et de les proposer aux praticiens, directement au sein de son laboratoire ou via des centres de production industriels [131].

2. 5. 3. Pour le patient.

2. 5. 3. 1. De nouvelles relations praticien-patient.

La loi du 4 mars 2002, relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé a profondément modifié la relation praticien-patient [80]. Devoir d'information, consentement éclairé, accès au dossier médical... le patient abandonne son rôle passif, pour devenir un acteur à part entière. Au pouvoir médical, la loi a opposé un contre-pouvoir et consacre définitivement la fin du paternalisme bienveillant des praticiens [11].

Parallèlement, la multiplication des rubriques « santé » dans les médias, *a fortiori* sur Internet - sites, forums, blogs, etc. - sont autant d'accès à des données médicales, plus ou moins fiables, qui viennent encore transformer cette relation [11, 20, 22].

Et l'odontologie n'est pas épargnée, bien au contraire. La relation Chirurgien Dentiste - patient partant déjà avec un handicap par rapport à celle entretenue avec un

médecin généraliste ou spécialiste (position allongée, intrusion de la cavité buccale, instrumentation, bruit, coût de certains soins...) [2], la méfiance vis-à-vis du dentiste s'accroît de plus belle. Le patient, désormais surinformé, se conduit en consommateur averti en matière de soins dentaires, tarifications et possibilités de recours. Ce dernier n'hésitera pas à comparer voire téléphoner pour obtenir des devis en ligne [11]. Il faudra donc, dans le futur, que le Chirurgien Dentiste intègre ces nouveaux types de comportements, adopte d'efficaces moyens de communication pour les contrecarrer [10, 11].

2. 5. 3. 2. Une époque de ruptures.

2. 5. 3. 2. 1. Rupture d'ordre social et de communication.

Comme nous l'avons vu précédemment, la mentalité des patients a changé. C'est une réalité qu'il faut accepter : ils sont devenus de véritables consommateurs de soins. Informés et exigeants, ils n'hésiteront plus à être infidèles à un praticien. Il s'agit là d'un changement définitif de comportement, auquel les praticiens doivent désormais s'adapter. Le seul savoir-faire ne suffit plus ; il faut également développer le « faire-savoir », c'est-à-dire acquérir de nouvelles compétences en communication, gestion, organisation... pour faire percevoir à la patientèle la qualité des soins [11].

Face à cette rupture d'ordre social et de communication, l'introduction des nouvelles techniques dans le cabinet dentaire peut rapidement devenir un allié inestimable pour le Chirurgien Dentiste [10].

D'abord, parce que les outils de communication faisant appel à l'imagerie numérique et à l'informatique apportent une réponse rapide, précise et simple aux interrogations des patients, tout en validant les impératifs juridiques du devoir d'information du patient [61, 74]. Qu'il s'agisse de systèmes de communication indirects - DVD, fiches d'information - disposés dans la salle d'attente ou d'outils directs dans la salle de soins - caméra, animations sur écrans - tous améliorent le passage de l'information au patient [10, 15, 23]. En complément, un site web permet au patient de renforcer ses connaissances à domicile, voire de le transmettre à son entourage. A l'heure du consentement éclairé, de la preuve de l'information donnée, ils semblent être une solution d'avenir [15, 43, 132].

2. 5. 3. 2. 2. Rupture démographique.

Ensuite parce que, outre cette rupture sociétale, est apparue une rupture démographique. Sur le plan de la démographie professionnelle, l'ouverture du marché européen a favorisé l'arrivée de nouveaux praticiens en France, mais aussi la mise en concurrence des soins, notamment avec les pays de l'Est. Les autres pays européens sont donc d'ores et déjà des concurrents réels, avec lesquels il faut désormais compter [11]. La récente proposition de directive du Parlement européen relative à l'application des droits des patients en matière de soins de santé transfrontaliers va d'ailleurs dans ce sens. Elle confère aux patients le droit d'aller se faire soigner dans d'autres États membres et d'obtenir, dans le leur, le remboursement des coûts engagés. Par exemple, pour les soins dentaires couverts par l'Assurance Maladie, les patients peuvent recevoir ces traitements dans d'autres pays de l'UE et être remboursés sans autorisation préalable, jusqu'à concurrence du montant de remboursement prévu pour des soins identiques ou similaires [105]. Pour éviter le tourisme dentaire et la fuite des patients vers les cliniques étrangères à bas prix, les Chirurgiens Dentistes doivent donc redoubler d'effort. Car, si les patients n'ont ni les compétences, ni les aptitudes pour juger de la qualité clinique d'un traitement canalair ou d'une préparation pour couronne - au-delà des critères de douleur et d'esthétique - [11], ils jugent leur passage au cabinet dentaire en très grande partie sur le côté subjectif de leur expérience [2, 12]. Ils sont donc tout à fait en mesure de constater si le praticien suit ou non l'évolution technique au niveau du matériel. Et pour eux, l'utilisation de nouveaux outils de soins et de communication est synonyme de modernité, d'un cabinet à la pointe du progrès et, par conséquent, de soins de haute qualité [10]. Cela n'est pas sans influencer leurs choix : un grand nombre d'entre eux sont prêts à payer pour la qualité. L'implantation des nouvelles technologies dans le cabinet aura immédiatement une implication positive sur son image et celle du praticien. Par le passé, les évolutions technologiques survenaient de façon aléatoire (et rares étaient celles qui marquaient un tournant dans la profession), aujourd'hui elles relèvent de la révolution. Imagerie numérique, C.F.A.O., communication, reconnaissance vocale : la patientèle y est sensible et curieuse. Elle ne comprendrait pas que son Chirurgien Dentiste ne suive pas l'évolution technique. Voilà pourquoi il faudra compter avec les nouveaux outils numériques pour faire la différence dans le futur [10, 12, 61].

2. 5. 3. 2. 3. Rupture économique.

Enfin, la troisième et dernière rupture est économique et liée au système de santé. Face à une Sécurité Sociale qui se désengage de plus en plus, jusqu'à ne financer actuellement que le tiers des soins dentaires, il n'est pas difficile de prédire une profonde métamorphose du système de santé français dans le futur. Concernant la prise en charge des soins dentaires par la Sécurité Sociale, on peut s'attendre à un probable désengagement de sa part, au même titre que pour l'optique [11]. Autrement dit, en dé-remboursant les soins, on supprimerait aussi les obstacles qui, jusque là, freinaient le développement des nouvelles technologies type C.F.A.O. en France. Car la législation actuelle n'est pas sans influencer le recours aux prothèses numériques [131]. Le retard pris par la France dans ce domaine est pour en partie lié au fait que la Sécurité Sociale ne prend pas en charge toutes les restaurations prothétiques (ni facettes, ni inlay-onlays, uniquement les pièces faisant intervenir une technique de coulée⁵...) [66]. Il est donc difficile de développer les nouvelles techniques quand elles ne sont pas suffisamment honorées et valorisées dans un pays. A titre d'exemple, seuls 400 Chirurgiens Dentistes sont équipés d'un Cerec® en France, soit 1%, taux le plus bas d'Europe [22]. Pourquoi ? Peut-être par peur du changement, mais aussi et surtout parce que contrairement à l'Allemagne ou aux Etats-Unis, il est actuellement plus dur de proposer au patient un inlay-onlay hors nomenclature qu'une restauration directe remboursée par l'Assurance Maladie.

2. 6. Conclusion.

Pour relever ces défis auxquels la profession sera confrontée dans le futur, des solutions matérielles et logicielles, performantes dans les domaines diagnostiques, thérapeutiques et de communication existent aujourd'hui. Mais leur développement ne va faire que s'accélérer dans les années à venir, source d'un nouveau challenge : l'impérieuse nécessité pour les praticiens de suivre des formations [28], pour tirer le meilleur parti de la *high-tech* - car elle ne constitue pas une réponse à tous les problèmes - et en faire une plus-value indéniable au cabinet dentaire [11]. Les nouvelles technologies ont investi l'art dentaire, le mouvement est irréversible ; cela ne doit ni fasciner ni effrayer les praticiens.

⁵ Paradoxalement au contexte économique actuel, un récent rapport de la HAS irait dans le sens d'une prise en charge des prothèses numériques. [66, 131]

3. APPORT DE L'ASSISTANCE INFORMATIQUE EN ORTHODONTIE.

3. 1. Introduction.

L'orthodontie est une spécialité qui permet de corriger les malpositions dentaires et les malformations des mâchoires afin de redonner une denture fonctionnelle esthétique. Un traitement orthodontique consiste à appliquer une force sur une ou plusieurs dents de manière à les replacer et repositionner pour obtenir un équilibre harmonieux.

L'orthodontie s'est diversifiée, les praticiens ont appris à conjuguer orthodontie, orthopédie et chirurgie orthognathique pour répondre à une demande de plus en plus importante et exigeante. Pour la réussite et l'atteinte des objectifs de traitement, le diagnostic constitue l'élément clé à poser avant d'entreprendre quoi que ce soit. Une des avancées les plus remarquables est l'utilisation du diagnostic dans les trois sens de l'espace. En effet ; jusqu'à ces dernières années, l'examen du complexe crânio-facial était exclusivement réalisé à l'aide des images 2D et les moulages en plâtre constituaient le seul examen complémentaire permettant une vision tridimensionnelle.

Aujourd'hui, le développement de l'informatique nous permet d'entrevoir la possibilité de travailler de façon systématique et souple sur des images tridimensionnelles. Cette nouvelle technique est une véritable alternative aux moulages classiques. Effectivement, en plus de la reconstruction 3D du complexe crânio-facial, elle nous permet de transformer les « gypsothèques » traditionnelles en gypsothèques virtuelles grâce à la numérisation des modèles orthodontiques. Cela nous donne la possibilité de disposer rapidement du matériel de documentation et d'un remarquable gain d'espace et de temps.

Il existe de nombreux logiciels permettant l'utilisation de modèles digitaux, qui sont de plus en plus performants dans l'aide au diagnostic, permettant également de simuler et visualiser les résultats de son plan de traitement. De plus, d'autres applications comme le placement des brackets, l'individualisation des appareillages multi-bagues sont disponibles.

3. 2. Représentation tridimensionnelle des arcades dentaires.

3. 2. 1. Techniques de numérisation.

3. 2. 1. 1. Numérisation indirecte.

Dans cette première méthode, 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 que Invisalign®, OrthoCad®, Emodel®, Bibliocast® pour les principales.

3. 2. 1. 1. 1. Installation du logiciel.

Tout d'abord, il faut installer le logiciel permettant de manipuler les modèles orthodontiques numérisés. 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. 2. 1. 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. En effet, celles-ci sont envoyées sur de longues distances et doivent donc résister au délai d'acheminement. Une référence parmi ces matériaux est un alginate de très haute précision et d'une grande stabilité, il s'agit de l'Orthoprint.

Ces empreintes à l'alginate sont désinfectées avant d'être expédiées. Elles restent stables volumétriquement pendant 5 jours ; si l'on pense que celles-ci ne seront pas livrées pour un tel délai de temps (le temps de collecter plusieurs empreintes avant l'envoi par exemple), il est conseillé d'employer un polyéther tel que l'Impregum® [71].

3. 2. 1. 1. 3. La numérisation des modèles.

Dès réception, l'entreprise coule les empreintes et procède à la numérisation. Il existe deux méthodes qui seront développées plus loin.

3. 2. 1. 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, leur permettant d'accéder au téléchargement des modèles numérisés.

Concernant les techniques de numérisation, il en existe deux différentes, la technique « non destructive » et la technique « destructive ».

3. 2. 1. 1. 5. 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 camera numérique pour analyser les distorsions du rayon au fur et à mesure de sa progression. Ce procédé produit des lignes dans les trois sens de l'espace qui, assemblées en centaines de triangles, forment l'image tridimensionnelle. La qualité de la reconstruction est sous la dépendance de la distance existante entre chaque point scanné [81,109].

3. 2. 1. 1. 6. 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 [122].

3. 2. 1. 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. 2. 1. 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®.

- La caméra Cerec de Sirona® est développée dans le chapitre précédent (cf partie 2.3.3.1) [122].
- la technique SureSmile®.

Cette technique permet une individualisation du traitement de chaque patient à l'aide de 3 outils :

- un scanner intra oral ;



Fig. 58 : scanner intra oral SureSmile® [99]

- 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. Elle est également basée sur une triangulation active qui permet de scanner en 3D sans avoir besoin d'un point de référence fixe. Sa précision est de l'ordre de 50 μm (comparable aux techniques précédentes).

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 logiciel 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. La lumière est réfractée par le miroir, ce qui permet la capture des images au fur et à mesure de son évolution.

Etant donné la translucidité des dents, une solution d'oxyde de titane est appliquée en bouche avant le balayage [99].



Fig. 59 : chariot comprenant le module de balayage, l'ordinateur et l'écran [99]

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 » comme les logiciels OrthoCad® ou Invisalign®, celle-ci sera décrite plus tard.

Les fenêtres du logiciel représentent des 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 [93, 82].

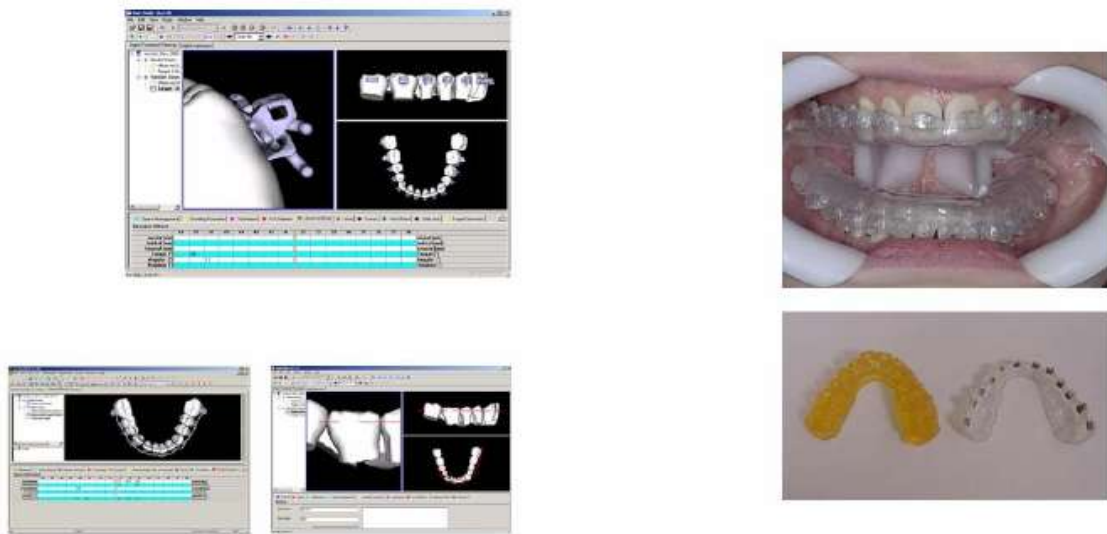


Fig. 60 : la technique SureSmile[99]

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 [93,82].

3. 2. 1. 2. 2. Numérisation des moulages au cabinet.

- Système Roland [113].

Les scanners laser 3D permettent une acquisition sans contact à l'aide d'un laser. Ils nous permettent de créer rapidement et avec précision des données digitales à partir d'un objet. Il existe différentes machines proposées chez Roland telles que :

- LPX-1200
- LPX-60
- LPX-600...

Le scanner laser LPX-600 bénéficie d'une large zone de numérisation (40 cm en haut pour un diamètre de 25 cm). Une fois lancé, le laser balaie verticalement l'objet en rotation pour générer un fichier 3D.


	Aire de scannérisation	
	Rotatif (diamètre, hauteur)	254mm x 406,4mm
	Planaire (largeur, hauteur)	254mm x 406,4mm
	Pas de numérisation	
	Rotatif	0,2mm
	Planaire	0,2mm
	Vitesse	
	Rotation de la table	9t/mn
	Vitesse de la tête	Max 37mm/sec.
	Interface	USB
	Dimensions	630 x 506 x 761 mm
	Poids	63 kg

Fig. 61 : scanner laser 3D LPX-60. [113]



Fig. 62 : scanner laser 3D LPX-1200.[113]

Le LPX-60 est le nouveau scanner qui offre la précision du LPX-600 mais avec un format plus compact. Le LPX-60 est piloté par le logiciel Roland qui permet de générer un fichier de données numériques de qualité semblable au LPX-600 et sous divers format d'exploitation.

Les scanner 3D à palpéage mécanique permettent, quant à eux, une acquisition qui se fait par contact. On peut citer les machines outil MDX-15 ou MDX-20. Ces

dernières permettent à la fois de numériser, graver et modeler dans les trois dimensions de l'espace.



Fig. 63 : scanner 3D MDX-15. [113]

Grâce à un capteur *piezo* actif, le MDX a la possibilité de scanner et numériser un grand nombre d'objets, ce qui n'était pas possible avec les scanners conventionnels (optiques). L'acquisition est effectuée par contact extrêmement léger et précis, par effleurement de la surface de l'objet. Dès lors, la numérisation de matériaux transparents ou mous, tels que l'alginate, est rendue possible avec ces machines. Ce qui n'était pas possible avec les scanners optiques [107].

En remplaçant la tête de scan par une broche, le MDX se transforme en fraiseuse numérique. Parmi ses applications, on retiendra la modélisation, la conception et la réalisation de moules, prototypes de bijoux, boutons, flacons, gravures et donc l'orthodontie.

- Système Minolta [89].

Le VI 910 est un scanner laser 3D commercialisé par Minolta, très polyvalent. 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 et 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. En chirurgie reconstructrice, maxillo-faciale et esthétique, il constitue une aide pour la réalisation du plan de traitement et des prothèses. De même en orthodontie, ces applications trouvent leur place dans la modélisation des modèles orthodontiques.

3. 2. 1. 3. Schématisation 3D à partir de la 2D.

Le logiciel Modélis® permet d'avoir une représentation du cas patient en 3D, au sortir d'un tracé occlusal obtenu grâce aux enregistrements classiques comme la téléradiographie et les empreintes. On obtient alors une schématisation 3D des arcades. Les dents et les maxillaires sont placés ; seule la forme des dents est standard (car non saisie) [102]. Avec ces outils nous pouvons :

- simuler des extractions de dents,
- simuler des mouvements de croissance,
- présenter le cas sous différents axes/vues.

3. 2. 1. 4. Scanner avec reconstruction 3D.

3. 2. 1. 4. 1. Généralités.

Par rapport aux techniques précédentes, l'acquisition des images se fait ici directement sur le patient en utilisant des rayons X. Les scanners permettent la réalisation de reconstructions tridimensionnelles d'une grande précision grâce à des coupes très fines (0.5 mm d'épaisseur). Contrairement à la radiographie conventionnelle, il est possible à partir d'une seule et unique acquisition, d'obtenir des vues dans les différents plans de l'espace tout en s'affranchissant des aléas de réalisation des téléradiographies.

Treil et Casteigt (2006) ont mis au point des logiciels d'analyse céphalométrique à partir d'acquisitions tomodensitométriques. Ces logiciels sont le *Cépha 3 DT* et le *Cépha C2000*. La méthode proposée associe des données numériques tomodensitométriques (TDM), des informations anatomiques et des outils

mathématiques pour générer un modèle 3D de l'architecture crânio-facio-maxillo-dentaire.

3. 2. 1. 4. 2. Cépha 3 DT et Cépha C2000.

Le *C2000* permet, à partir des coupes sériées issues d'acquisitions tomodensitométriques, d'isoler et de reconstruire des structures en trois dimensions. Le *Cépha 3 DT* est quant à lui le logiciel permettant la réalisation de l'analyse céphalométrique.

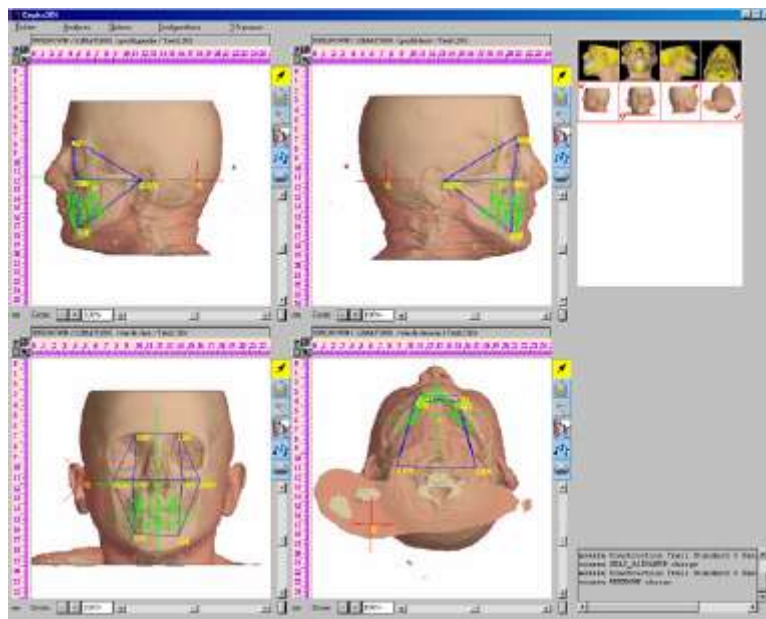


Fig. 64 : *Cépha 3DT* avec l'analyse du Dr Treil [128]

Donc, à partir d'une saisie scanner, l'analyse céphalométrique tridimensionnelle issue des logiciels *C2000* et *Cépha 3 DT* permet :

- une lecture parfaite de l'architecture maxillo-faciale globale ;
- une identification parfaite des positions dentaires linéaires et angulaires, par rapport aux arcades et un repérage des arcades par rapport à l'architecture maxillo-faciale [94, 52].

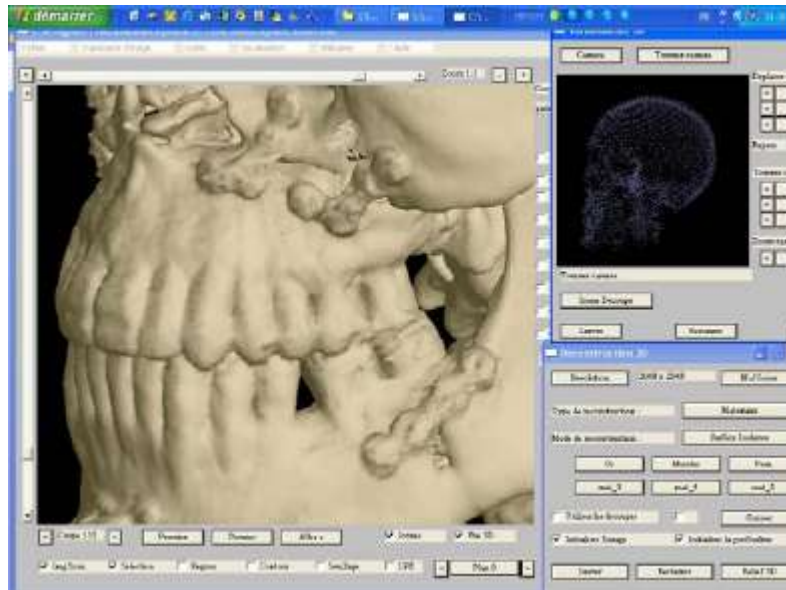


Fig. 65 : Reconstruction dentaire réalisée avec C2000

La tomodensitométrie permet, grâce aux logiciels *Cépha C2000* et *Cépha 3DT*, de calculer certains paramètres d'anatomie dentaire tels que les volumes dentaires, radiculaires et coronaires. Ces derniers peuvent servir de base pour définir la notion d'ancrage en orthodontie. Les valeurs guides sont calculées et comparées à celles proposées dans la littérature. Les nouveaux coefficients d'ancrage proposés remettent en cause certaines attitudes thérapeutiques en orthodontie [94, 52].

Ces logiciels présentent quelques inconvénients. Tout d'abord, pour une bonne qualité, le temps de travail pour la reconstruction des organes dentaires est très long. La sélection par seuillage ne permet pas une bonne définition des couronnes dentaires. Pour obtenir une reconstruction de bonne qualité, il faut sélectionner sur les coupes natives TDM les organes dentaires (sur chaque coupe). Ensuite, le logiciel C2000 calcule les axes d'inertie de chaque dent et de groupe de dents. Le calcul des axes d'inertie définit pour chaque dent ou groupe de dents un repère 3D. L'axe d'inertie principal de la dent, l'axe le plus long correspond à son axe corono-radiculaire. Le calcul des axes d'inertie d'un groupe de dents permet de définir mathématiquement des héli-arcades, de l'arcade maxillaire, de l'arcade mandibulaire et de l'ensemble des deux arcades [128].

Ensuite, l'image tridimensionnelle ne peut pas être mobilisable comme la reconstruction des moulages 3D, l'image est statique selon la vue choisie.

Enfin, si ces deux logiciels sont très performants pour l'analyse architecturale du complexe crânio-maxillaire en 3D, ils ne sont cependant pas vraiment adaptés pour une étude des arcades dentaires comme on l'entend avec les modèles orthodontiques.

3. 2. 1. 4. 3. NewTom 9000 et NewTom 3G.

L'imagerie volumétrique, par le biais de reconstructions tridimensionnelles, fournit l'information la plus complète. Elle s'affranchit des problèmes de superposition de structures anatomiques des radiographies conventionnelles. Concernant les tissus de haute densité tels que les tissus osseux ou dentaires, la tomodensitométrie constitue l'examen de choix permettant une approche tridimensionnelle du cas. Cependant, en raison d'une dosimétrie élevée, le scanner demeure un examen de seconde intention.

L'apparition de la tomographie volumétrique numérisée par le système *NewTom*, destinée aux explorations maxillo-faciales, permet d'obtenir le même type de clichés pour une dose de rayons X très diminuée et un faible coût.

- Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement du tomographe volumique est basé sur la technique du faisceau conique de rayons X et d'un récepteur de type amplificateur de brillance et d'une camera CCD. *NewTom 9000* est le premier à utiliser cette technique « *Cone Beam* » ; le *NewTom 3G* est une évolution du *9000*. Actuellement il existe d'autres appareils utilisant cette technique.

Un tube à rayons X génère un faisceau de rayons X en direction d'un amplificateur de brillance. L'ensemble est monté sur un bras motorisé qui tourne autour d'un axe. Le crâne du patient est placé au centre de rotation grâce au déplacement longitudinal du lit sur lequel il est installé.

Deux centreurs lasers permettent à l'utilisateur d'approcher le centrage du patient. Pendant l'examen, le patient doit rester immobile 30 secondes ; l'utilisateur peut

suivre en direct l'acquisition sur son écran. Le bras tourne autour du patient et tous les degrés le système déclenche une exposition. Une seule rotation (360 expositions) suffit au système pour enregistrer sur le disque dur l'intégralité des données brutes relatives au patient [97].

- Les avantages du NewTom :

Cette machine présente une grande précision (0.1 mm au lieu de 1.5 mm pour le scanner traditionnel).

Une des grandes différences avec le scanner traditionnel est la quantité de radiation à laquelle le patient est exposé. En effet, avec un scanner traditionnel, le temps de travail est de 10 minutes, dont 2 minutes d'exposition aux radiations pour le patient ; le *NewTom* ne prend que 70 secondes et expose le patient à 17 secondes de faible dose de radiation.

Cette machine présente un autre grand avantage puisque à partir d'un examen, on peut obtenir l'ensemble des examens complémentaires nécessaires au diagnostic orthodontique. Ainsi, à partir d'un examen, on obtient :

- une image céphalométrique de profil ;
- une image céphalométrique de face ;
- une image panoramique.



Fig. 66 : exemple de reconstruction 3D. [97]

En plus des radiographies panoramiques et céphalométriques, ce scanner permet de réaliser des reconstructions 3D. On obtient des images dentaires de bonne qualité. Cependant, le manque de définition des couronnes avec des matériaux comme le métal et l'immobilité des modèles n'en font pas un examen de choix pour l'analyse de la denture en orthodontie (fig. 66) [97].

3. 2. 2. Applications.

3. 2. 2. 1. Stockage et conservation des modèles dentaires.

La numérisation des arcades dentaires est un moyen d'archiver des modèles d'étude, permettant ainsi de produire une image durable, sans risque de perte ni de dommage des modèles d'origine.

De plus, ce stockage est aisé : si un modèle nécessite un espace de 5 Mo, un CD-ROM peut alors contenir entre 130 et 145 modèles d'étude. Un disque dur de 60 Go peut donc contenir 12000 modèles d'étude. Ainsi, grâce à la numérisation des modèles d'étude, il n'est plus nécessaire de prévoir un espace de stockage, pouvant atteindre plusieurs mètres cubes chaque année [62, 71].

3. 2. 2. 2. Diagnostic et traitement.

Grâce aux nouvelles avancées en matière de numérisation 3D, il existe désormais des logiciels permettant de réaliser des examens des modèles d'étude avec une grande précision pour un gain de temps. Ces logiciels seront décrits plus loin. On peut ainsi simuler des plans de traitement comme par exemple la fermeture des espaces après des extractions. Cela va aider l'orthodontiste à poser un diagnostic et à mettre en place le plan de traitement le plus adapté au cas.

De même, grâce à la numérisation, des arcs et des brackets peuvent être fabriqués sur mesure, cette partie sera développée plus tard [62, 71].

3. 2. 2. 3. Communication.

La numérisation des arcades dentaires va permettre à l'orthodontiste de s'informer et de discuter sur les plans de traitement des patients avec les autres professionnels de santé, de manière aisée. En effet, les enregistrements 3D peuvent être facilement communiqués aux autres collègues via Internet, permettant ainsi un gain de temps et d'effort pour la réalisation du plan de traitement. Il n'est plus nécessaire de rencontrer physiquement les personnes.

De même, la communication entre l'orthodontiste et son patient est rendue plus simple. Grâce aux logiciels le praticien peut simuler des traitements tels que la fermeture des espaces interdentaires suite à des extractions, par exemple. Cela rend les explications plus faciles car le patient voit mieux ce qui va être fait et comprend donc mieux le plan de traitement proposé. Nous savons tous qu'un patient qui a compris ce qu'on va lui faire sera beaucoup plus coopérant et attentif aux prescriptions de son orthodontiste. Simuler et montrer au patient permettent de le rassurer et de le mettre en confiance pour un meilleur résultat final [62, 71].

3. 3. Les différents logiciels pour moulages tridimensionnels.

3. 3. 1. OrthoCad®.

3. 3. 1. 1. Introduction.

Ce système de visualisation des moulages numériques provient des Etats-Unis et a été développé par Cadent®. C'est sûrement le logiciel le plus complet à l'heure actuelle. La technique de numérisation des moulages et le protocole ayant été abordés précédemment, nous allons cette fois-ci décrire ce logiciel ainsi que les manipulations possibles.

3. 3. 1. 2. Présentation du logiciel.

Sur la page d'accueil, on peut visualiser une barre d'outils, ainsi qu'une petite fenêtre qui permet la manipulation des moulages dans les trois sens de l'espace. Ces

manipulations peuvent être aussi réalisées grâce à la souris directement sur l'écran de contrôle. Ainsi, différents affichages sont disponibles pour visualiser les modèles :

- chaque modèle seul, en vue occlusale ;
- cinq vues différentes.

Là aussi, pour chaque fenêtre, la manipulation des modèles dans les trois sens de l'espace est infinie.

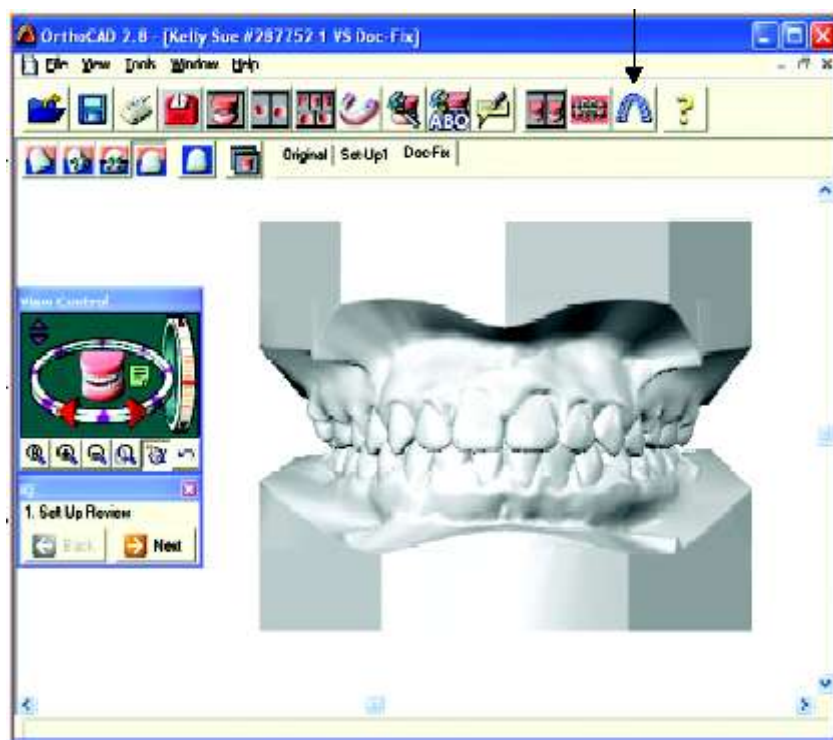


Fig. 67 : page d'accueil du logiciel OrthoCad®. [103]

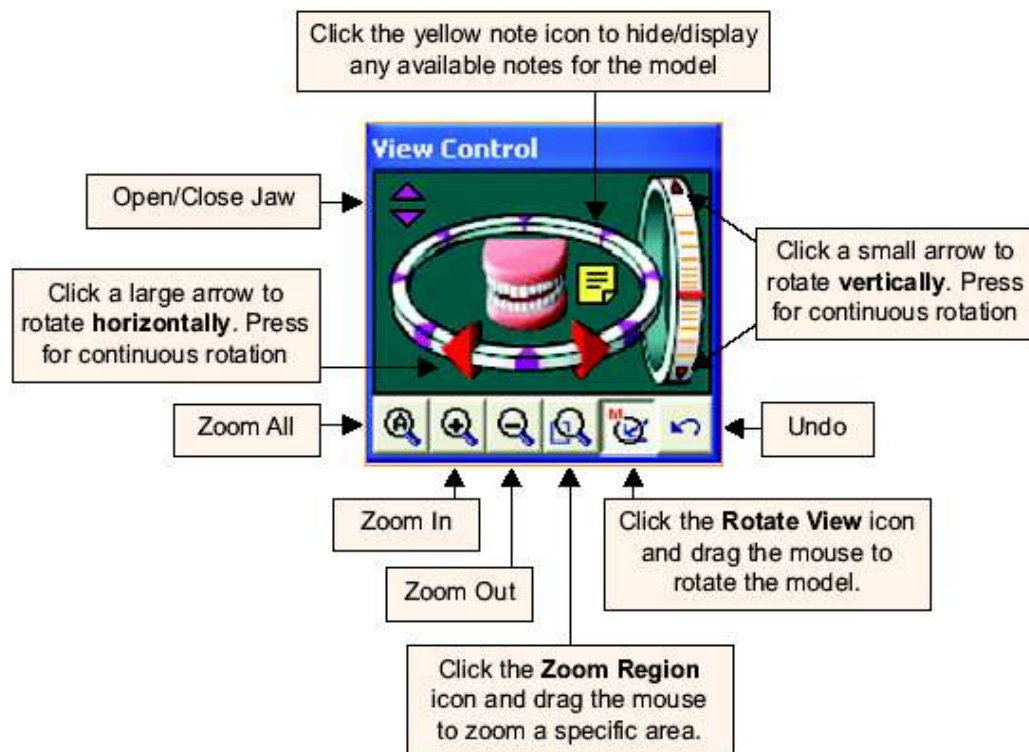


Fig. 68 : fenêtre pour la manipulation des moulages. [103]

La barre d'outils permet également de visualiser les contacts occlusaux selon une courbe de niveau.

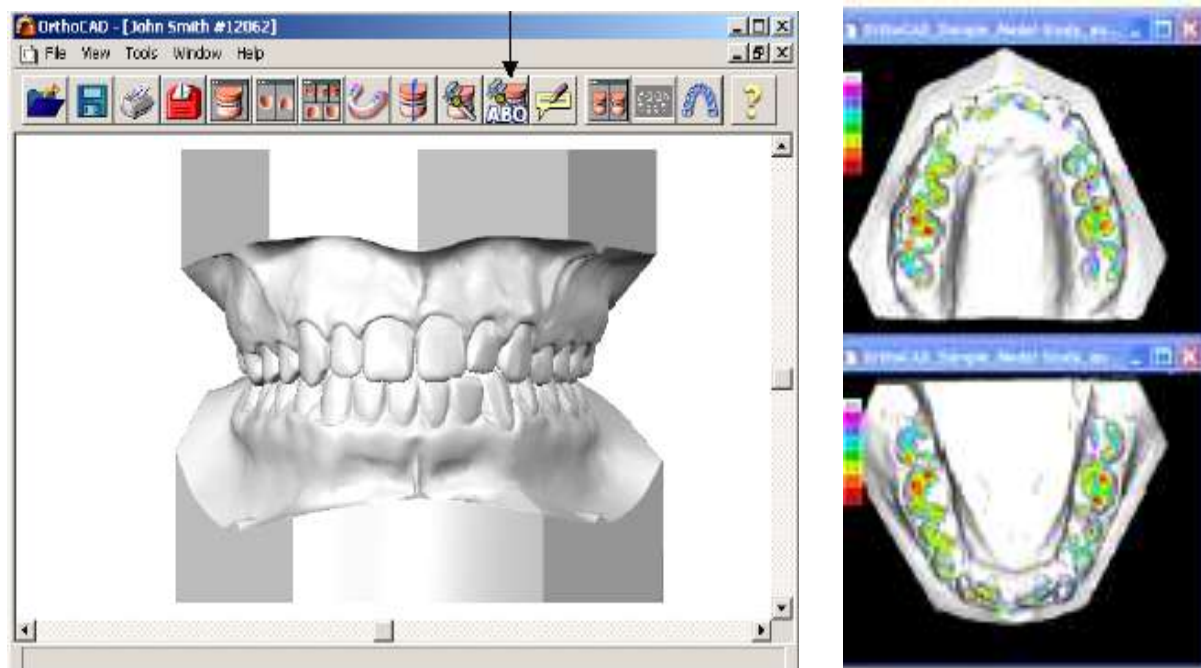


Fig. 69 : visualisation des contacts occlusaux sur les modèles OrthoCad®. [103]

Il existe aussi une fonction permettant d'effectuer des coupes transversales et sagittales des modèles. Cette fonction est utilisée pour la mesure du surplomb ou de la supracclusion [71].

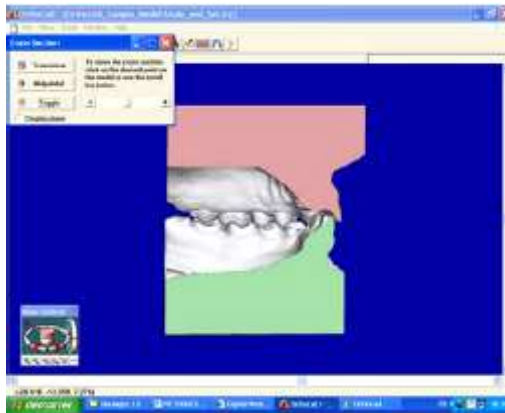


Fig. 70 : coupe sagittale des modèles avec OrthoCad®. [103]



Fig. 71 : coupe transversale des modèles avec OrthoCad®. [103]

Il est possible d'exporter les différentes vues en images 2D. Cette option va permettre d'incorporer les vues dans le dossier patient avec les photos numériques et les radiographies. Il est également possible d'ajouter des notes particulières pour chaque dent : par exemple un ancien traumatisme, ou encore une note jointe à un confrère. Les modèles peuvent être transmis à un autre cabinet via Internet par le logiciel [62, 71, 103].

3. 3. 1. 3. Outils diagnostiques.

3. 3. 1. 3. 1. Mesure du surplomb et du recouvrement.

La possibilité de réaliser des coupes, évoquée plus haut, va faciliter la mesure de ces deux paramètres [103].

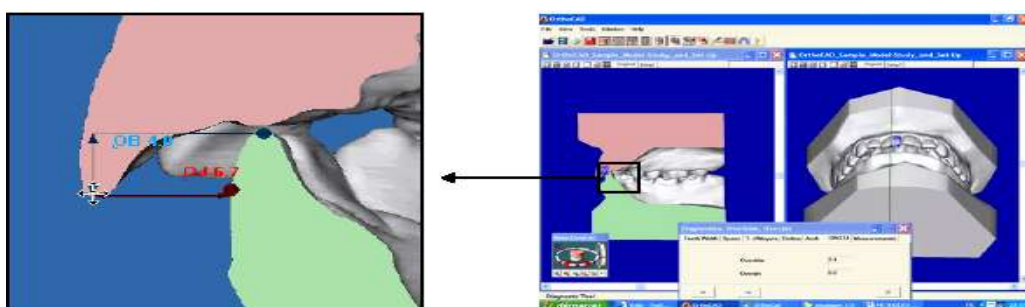


Fig. 72 : mesures de l'*overjet* et de l'*overbite* avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 2. Mesure de la longueur de l'arcade.

Ces mesures se font grâce à des arcs générés automatiquement et modifiables à volonté. L'ajustement se fait grâce à des points de repères situés sur les arcs.

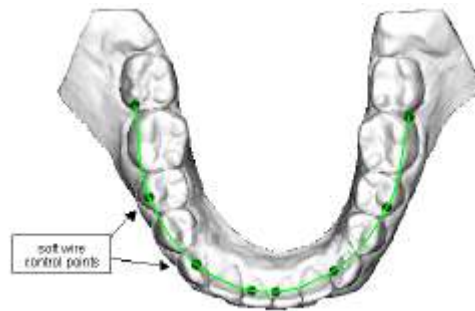


Fig. 73 : mesure de la longueur de l'arcade avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 3. Mesure mésio-distale des dents.

Des étriers virtuels et le zoom permettent d'ajuster très précisément chaque mesure. Les mesures mésio-distales sont effectuées sur chaque dent et répertoriées dans un tableau [62, 71, 103, 140].

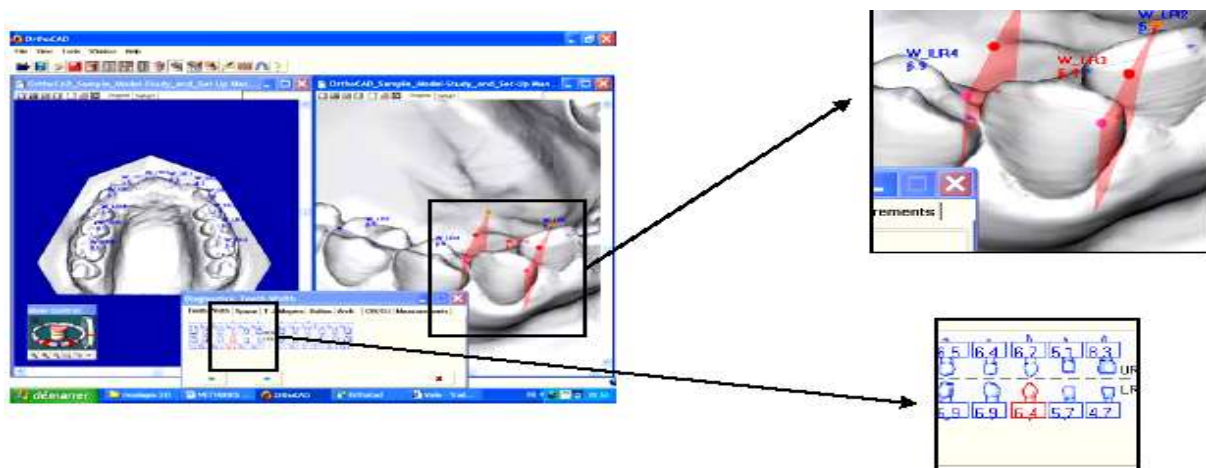


Fig. 74 : mesure mésio-distale des dents avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 4. Calcul de la différence entre espace disponible / espace nécessaire.

L'espace nécessaire correspond à la somme des diamètres mésio-distaux des dents, et l'espace disponible est calculé grâce aux arcs virtuels décrits précédemment. Cette somme est positive quand il y a des diastèmes et négative dans le cas d'encombrements [62, 71, 103, 140].

	Available	Required	Difference
Maxilla:	74.58	61.70	12.88
Mandible:	63.79	63.33	0.46

Fig. 75 : calcul de l'espace avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 5. Analyse de Bolton.

L'analyse de Bolton permet de faire une comparaison entre la largeur mésio-distale des dents maxillaires et des dents mandibulaires, le calcul de l'indice de Bolton est réalisé automatiquement [62, 71, 103, 140].

	Maxilla	Mandible	Discrepancy	Case Ratio	Ideal Ratio
Total	80.8	82.9	10.04	1.0265	0.9130
Anterior	36.4	34.3	8.00	0.9416	0.7720

Fig. 76 : calcul de l'indice de Bolton avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 6. Les mesures possibles sur les arcades.

Au niveau des arcades on peut effectuer trois types de mesures :

- UPAW** largeur inter molaire maxillaire
- LPAW** largeur inter molaire mandibulaire
- UCD** largeur inter canine maxillaire
- LCD** largeur inter canine mandibulaire
- LAAW** largeur inter prémolaire mandibulaire
- UAAW** largeur inter prémolaire maxillaire [103].

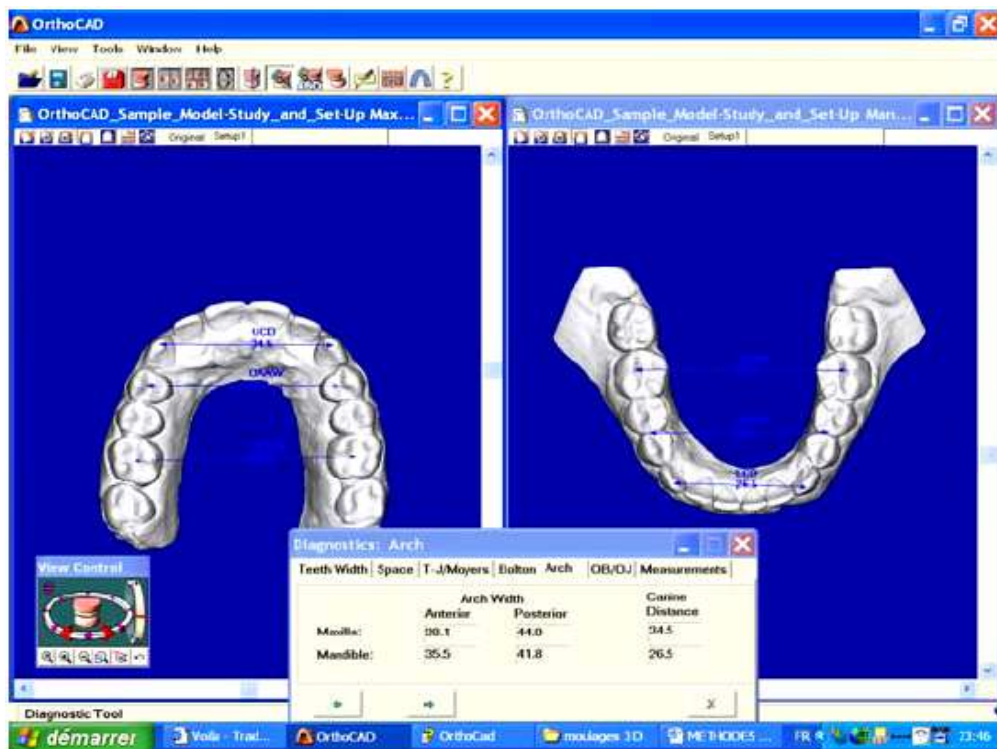


Fig. 77 : les mesures possibles sur l'arcade avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 7. Analyse de Moyers et de Tanaka /Johnston.

Ces analyses sont utilisées pour l'estimation de la largeur des canines et des prémolaires n'ayant pas encore fait leur éruption. Cette estimation est obtenue à partir de la largeur mésio-distale des incisives permanentes (SI) [62, 71, 103, 140].

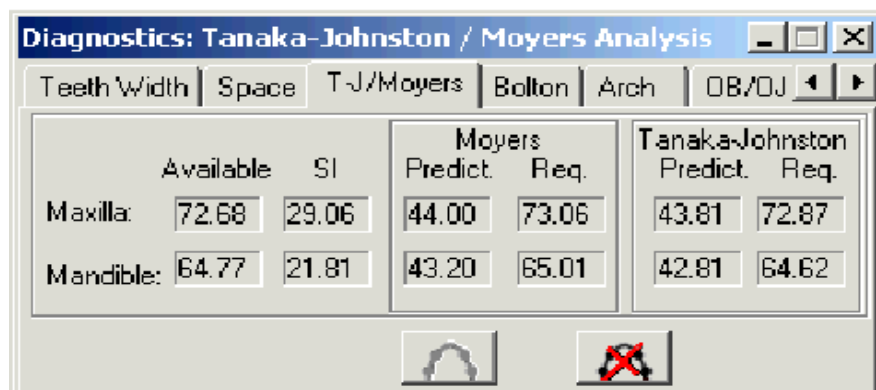


Fig. 78 : analyse de Tanaka-Johnston et de Moyers avec OrthoCad®. [103]

3. 3. 1. 3. 8. Les autres mesures possibles et autres fonctions.

Un dernier outil va permettre de réaliser quantité de mesures sur les moulages :

- Mesures entre points déterminés par l'opérateur ;
- Mesures entre un point et un plan ;
- Mesure entre deux plans [62, 71, 103, 140].

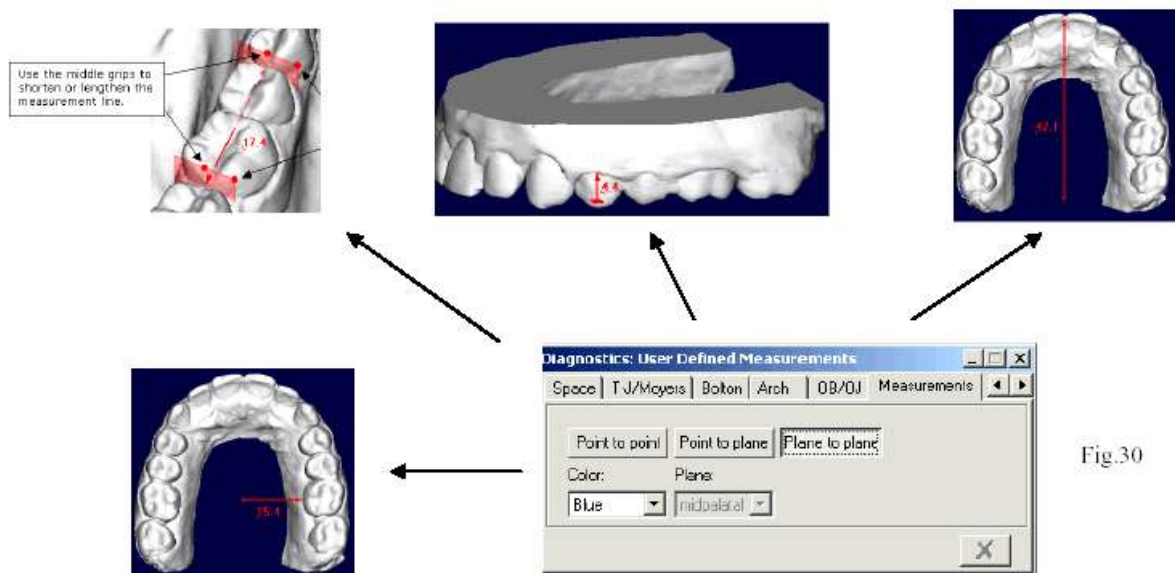


Fig.30

Fig. 79 : les mesures et fonctions possibles avec OrthoCad®. [103]

Les applications telles que le set up virtuel ou encore le positionnement des brackets seront abordées dans une autre partie.

3. 3. 2. Emodels®.

3. 3. 2. 1. Introduction.

Ce logiciel de visualisation des moulages a été développé au Etats-Unis. La page d'accueil se présente avec deux barres d'outils permettant d'avoir accès aux différentes fonctions d'Emodels®.

3. 3. 2. 2. Présentation du logiciel.

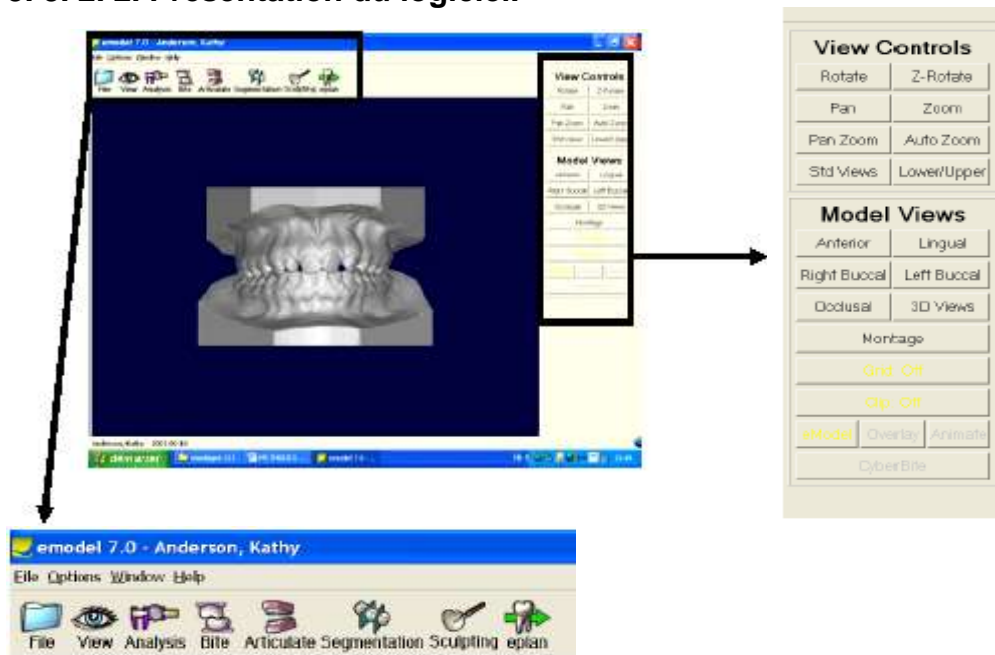


Fig. 80 : page d'accueil du logiciel Emodels®. [57]

Comme avec OrthoCad®, les modèles peuvent être mobilisés à volonté, dans les trois sens de l'espace. Là aussi, nous avons le choix entre différentes vues programmées pour visualiser nos modèles [57].

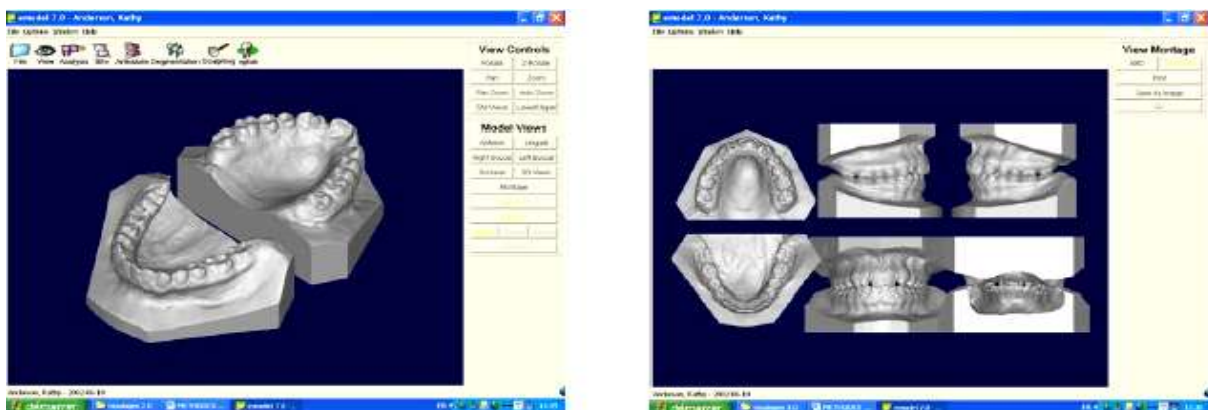


Fig. 81 : présentation des modèles avec Emodels®. [57]

Comme avec OrthoCad®, il est possible de visualiser les contacts occlusaux selon une courbe de niveau. Cette fonction est moins détaillée qu'avec l'autre logiciel.

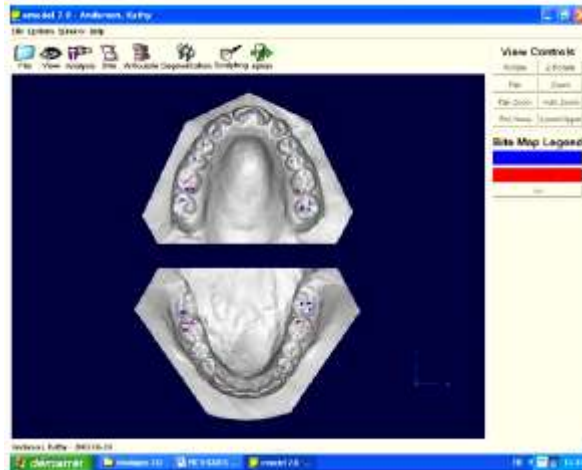


Fig. 82 : visualisation des contacts occlusaux avec Emodels®. [57]

Il est aussi possible de réaliser des coupes de modèles. Celles-ci sont représentées avec un simple trait, ce qui peut constituer un atout dans la réalisation des mesures par rapport à la représentation classique de sections des modèles [57].

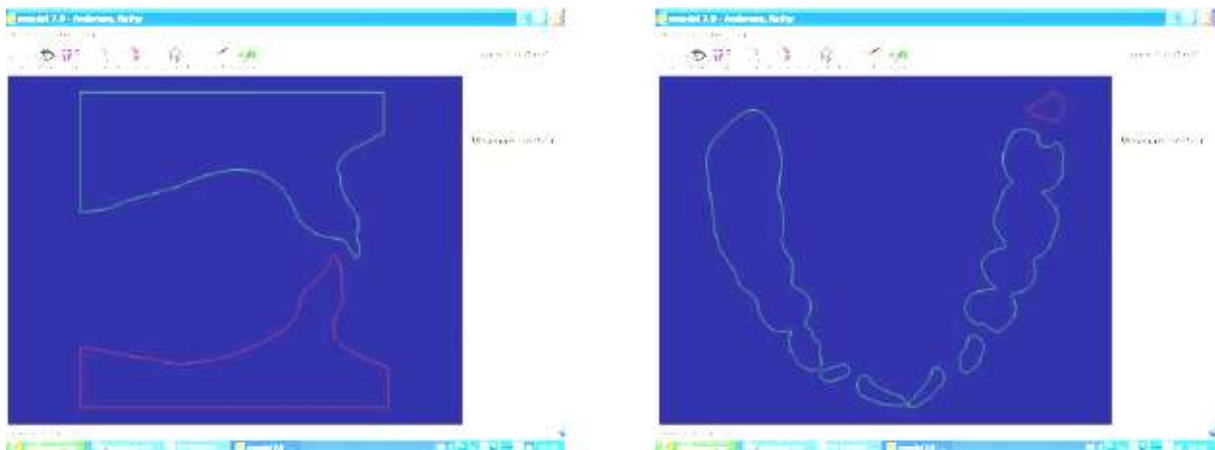


Fig. 83 : coupe des modèles avec Emodels®. [57]

3. 3. 2. 3. Outils diagnostiques.

Nous retrouvons ici les mêmes outils diagnostiques que chez OrthoCad®. Le surplomb et le recouvrement sont mesurables sur les coupes là aussi, et l'indice de Bolton est calculé automatiquement. Par contre, ici, les mesures s'affichent directement sur les moulages ; elles ne sont pas répertoriées dans un tableau. Autre élément, les étriers virtuels que l'on retrouve chez OrthoCad® et qui permettent d'affiner les mesures dentaires, n'existent pas. Cela n'empêche pas d'obtenir des mesures précises et faciles à réaliser [57].

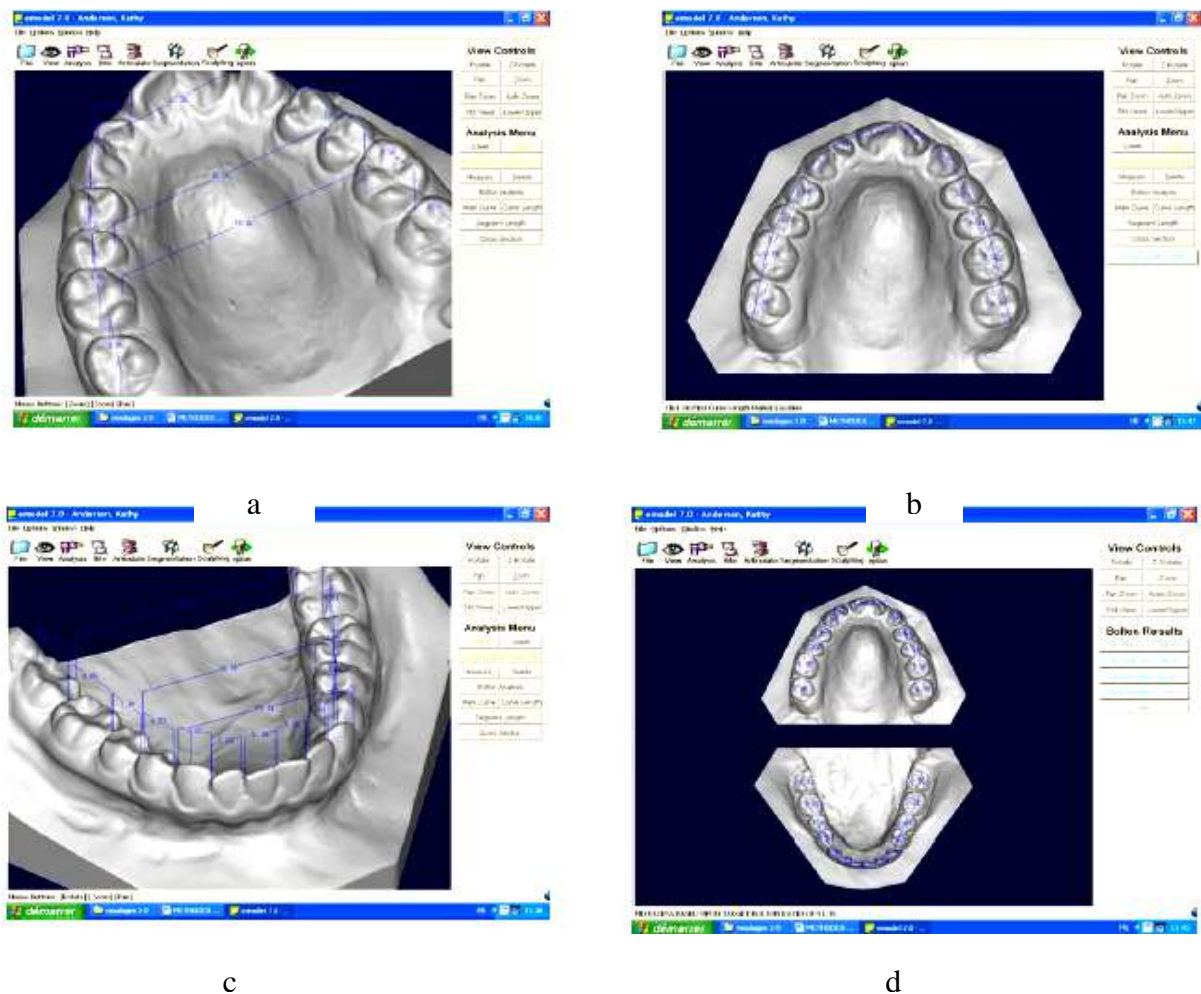


Fig. 84 a, b, c, d : les mesures possibles avec Emodels®. [57]

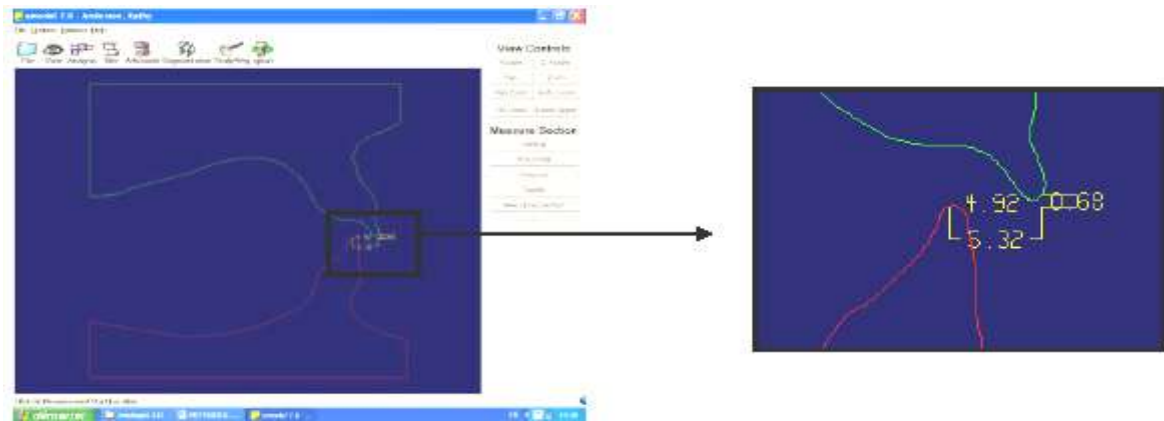


Fig. 85 : mesure du surplomb et du recouvrement avec Emodels®. [57]

3. 3. 3. Invisalign®.

3. 3. 3. 1. Introduction.

Align technologyInc© a développé une méthode de traitement appelé Invisalign®. Ce système constitue une véritable avancée technologique grâce à son approche esthétique pour traiter une malocclusion. Ainsi, grâce à l'imagerie 3D et à la technique CAD/CAM, Invisalign® propose un nouveau concept d'appareillage « invisible ».

Le système Invisalign® a été commercialisé en juin 1999, actuellement plus de la moitié des orthodontistes Américains et Canadiens sont qualifiés pour utiliser ce système. Durant leur formation, les orthodontistes se familiarisent avec :

- les critères de sélection des cas pouvant être traités par Invisalign® ;
- la prise des empreintes avec le polyvinyl-siloxane ;
- le logiciel qui leur permet de communiquer avec la société via l'Internet [72, 83].

3. 3. 3. 2. Les différents composants du système Invisalign®.

Le système Invisalign® est formé de nombreux composants, certains familiers à l'orthodontiste et d'autres, non. Les appareils utilisés lors du traitement, appelés *aligners*, sont fabriqués à partir d'un fin matériau plastique ayant des utilisations médicales et qui est un mélange de plastiques comparables aux polycarbonates. Les *aligners* s'arrêtent à hauteur de la gencive marginale et recouvrent entièrement les dents du patient. Chacune de ces gouttières est portée pour une durée de deux semaines avant d'être remplacée par la suivante. Elles se portent par paire, une gouttière pour chaque arcade, cependant le traitement d'une seule arcade peut être

envisagé. Le grand avantage de ces *aligners*, c'est leur discrétion une fois mis en place.



Fig. 86 : les *aligners* Invisalign®. [70]

Le second composant du système Invisalign® est le logiciel, qui va permettre la conception et la fabrication des *aligners*. Ce logiciel comprend le logiciel Treat 2.x qui simule le traitement envisagé et génère la série d'étapes intermédiaires de mouvement allant de la malocclusion initiale jusqu'au résultat final. Ainsi, ce logiciel est utilisé pour faire les set-ups « virtuels ». Toute manipulation de l'occlusion est réalisée en accord avec les instructions de l'orthodontiste, comme cela est écrit dans le plan de traitement.

La société communique avec l'orthodontiste en utilisant le logiciel ClinCheck. Ce logiciel permet de visualiser les mouvements des dents du patient, envoyés par Internet sous la forme d'une animation (set-up en 3 dimensions), avec un niveau de précision et des angles de vue qui ne sont pas possibles avec les méthodes de diagnostic habituelles/traditionnelles. En effet, ClinCheck comprend des outils de visionnage et de navigation permettant de mieux planifier le traitement et de prendre de meilleures décisions. L'orthodontiste peut également y demander des modifications du plan de traitement jusqu'à ce qu'il soit satisfait des mouvements et du résultat final [6, 69, 70, 83, 16].

3. 3. 3. 3. Procédures de traitement.

Ici nous abordons les différentes phases allant du début à la fin de traitement par *aligners* : les éléments permettant la constitution du dossier (diagnostic, photos,

radios et empreintes), la méthode de réalisation du ClinCheck (ou traitement virtuel), la phase capitale de vérification et de modification de ce ClinCheck, la réalisation des *aligners* par Align Technology Inc© puis leur pose au cabinet, le déroulement standard des rendez-vous de contrôle et, finalement, la contention.

3. 3. 3. 3. 1. Diagnostic et objectif de traitement.

Avant d'envisager le traitement par Invisalign®, tous les soins et les restaurations doivent être effectués. Il ne doit pas persister de maladie parodontale et l'ensemble des dents permanentes doivent avoir fait leur éruption. Comme tout traitement orthodontique, un traitement par *aligners* Invisalign® débute par un diagnostic, des objectifs et un plan de traitement. Le praticien peut les réaliser selon ses propres habitudes, mais la manière de les communiquer à Align Technology Inc© est imposée. Elle se fait par l'intermédiaire des formulaires de prescription et diagnostic, qui sont assez simples et complets. Ils doivent être systématiquement complétés et envoyés avec les empreintes et le dossier radio/photo-graphique du patient. Le formulaire traitement est limité aux corrections du bloc incisivo-canin, alors que le formulaire traitement complet permet de demander des déplacements sur l'ensemble de l'arcade [16, 17, 69, 70, 72, 83].

Traitement de canine à canine :

Les objectifs de traitement doivent être adaptés : ainsi Align Technology Inc© n'accepte de réaliser le traitement de canine à canine que lorsque la malocclusion correspond aux limites suivantes :

- Diastèmes : 4 mm maximum par arcade ;
- Encombrement : 4 mm maximum par arcade ;
- Correction des milieux : 2 mm au maximum ;
- Chevauchement de deux dents : 2 mm maximum ;
- Rotations de canines : 30° maximum ;
- Pas d'extractions. RIP si nécessaire. (RIP : réduction interproximale amélaire : stripping)

Traitement complet :

Les déplacements peuvent concerner toutes les dents et les trois dimensions. Le technicien d'Align Technology Inc© doit connaître les moyens que le praticien souhaite utiliser pour corriger la malocclusion.

3. 3. 3. 3. 2. Examens complémentaires.

Les examens complémentaires à envoyer à Align Technology Inc© sont ceux classiquement réalisés par l'orthodontiste : photographies exo- et endo-buccales, une radiographie panoramique et une téléradiographie de profil. Ces éléments peuvent être envoyés sur support papier ou directement par Internet s'ils sont réalisés par appareils numériques [16, 17, 69, 70, 72, 83].

Photographies

Les photographies exobuccales à réaliser sont : visage de face au repos, face avec sourire franc et profil droit. Les photos endo-buccales sont classiques : occlusion de face, latérales droite et gauche, arcades maxillaire et mandibulaire. Align Technology Inc© recommande de les présenter imprimées sur une feuille de papier photo A4, en orientation paysage. On doit y lire les nom, prénom, adresse et numéro de téléphone du praticien, ainsi que les nom, prénom, date de naissance, date de prise des photos du patient.

Depuis peu, Align Technology Inc© souhaite également des clichés des arcades maxillaire et mandibulaire sur lesquelles les points de contact occlusaux sont marqués au papier d'occlusion. Ces photos permettent de vérifier la concordance avec les contacts virtuels des images de synthèse.

Radiographies

Les radiographies à adresser à Align Technology Inc© sont la panoramique dentaire et la téléradiographie de profil. Les analyses céphalométriques réalisées par praticien ne sont pas à joindre.

3. 3. 3. 3. 3. Empreintes.

Les enregistrements des arcades dentaires doivent être de très haute qualité car des empreintes incomplètes ou déformées sont la principale cause d'un mauvais ajustement des gouttières. En effet, c'est à partir des empreintes que seront fabriqués tous les *aligners*. Que le traitement orthodontique concerne une ou deux arcades, les empreintes des deux arcades sont impératives.

Matériel et matériaux

L'alginate qui était habituellement utilisé par les professionnels a démontré son inaptitude à être employé dans ce cas. Le matériau de choix recommandé par Invisalign est le polyvinyl-siloxane (PVS). Ce matériau permet d'avoir des empreintes d'une grande précision et reste stable pendant trois semaines. Ce dernier détail a son importance, les empreintes devant être expédiées par avion aux Etats-Unis. Il supporte de plus les coulées multiples, mais la technique actuellement employée par Align Technology Inc© pour numériser les arcades se passe de coulée. L'inconvénient majeur du PVS est son temps de prise : 5 à 6 minutes sont nécessaires. C'est pourquoi le patient doit être informé par avance de la durée de la procédure, relativement longue pour lui. Il est également recommandé de protéger les vêtements du patient à l'aide d'un drap pour éviter toute dégradation. Quelle que soit la technique choisie, un matériau à basse viscosité (*light*), distribué par pistolet ou seringue est nécessaire. En fonction de la technique d'empreinte, on associera ce *light* à un matériau à haute viscosité (*putty*) ou très haute viscosité (*heavy* ou *lourd*), ce dernier étant distribué par malaxeur (type Pentamix de 3M ESPE®).

L'enregistrement des rapports inter arcades peut être réalisé à l'aide de *Dentsply Regisil® Rigid*, ou de tout autre matériau PVS de prise d'occlusion (*Mémosil 2* de *Heraeus Kulzer®*, *Futar D occlusion* de *Kettenbach®*...).

Les porte-empreintes utilisés sont fournis par Align Technology Inc© et sont en plastique, ce qui permet la lecture de l'empreinte par tomodensitométrie. Il est donc impossible d'utiliser d'autres porte-empreintes, notamment ceux en métal. L'avantage du porte-empreinte plastique est la possibilité de modifier à la fraise ou déformer après trempage dans l'eau chaude, ceci pour améliorer son adaptation.

Ces porte-empreintes existent de plus en différentes tailles. En fonction des recommandations faites par le fabricant, un adhésif peut être nécessaire pour que le matériau PVS adhère au porte-empreinte [16, 17, 83].

Techniques

Il existe trois techniques d'empreintes différentes. Elles gagnent toutes à être réalisées à quatre mains, la rapidité d'exécution étant très importante.

- Gestion des contre dépouilles.

Afin d'éviter le déchirement du matériau à empreinte lors du retrait du porte-empreinte, les espaces interdentaires, les furcations radiculaires et les espaces sous les intermédiaires de bridge doivent être comblés à la cire avant la prise d'empreinte. De même, les couronnes avec des caries sous-jacentes et les provisoires peuvent se desceller, car le retrait du matériau peut s'avérer difficile à cause de l'effet ventouse. Pour éviter ces problèmes, le praticien doit s'assurer que les restaurations en question soient bien scellées avant les prises d'empreintes.

- Wash-technic.

Avec la Wash-technic les empreintes sont réalisées en deux temps, le premier à l'aide d'un matériau "lourd", le second d'un "light". Les recommandations d'Align Technology Inc© pour le choix des matériaux sont :

- pour le silicone de haute viscosité (*heavy*) : *Dimension Penta H* de 3M ESPE.
- pour le silicone de basse viscosité (*light*) : *Dimension Garant L* de 3M ESPE.

Avec l'empreinte de haute viscosité, l'orthodontiste réalise une sorte de porte-empreinte individuel, prêt à recevoir le *light*. Deux techniques sont applicables :

- la première phase d'empreinte peut être réalisée directement en bouche. Il faudra supprimer au bistouri toutes les contre dépouilles, avant de réaliser l'empreinte au *light* ;
- Il est aussi possible, pour le confort du patient, de la réaliser sur des modèles en plâtre du patient, réalisés au préalable à partir d'une empreinte à l'alginat. Il faudra veiller simplement à positionner sur le modèle un film plastique espaceur.

Le deuxième temps de l’empreinte est réalisé au *light*. Celui-ci est déposé dans le porte-empreinte mais également en bouche, à l’aide d’une seringue, au niveau des collets et des faces occlusales et en distal des dernières dents. L’insertion du porte-empreinte suit immédiatement et doit être lente et progressive afin de limiter le risque de tirage au niveau postérieur.

Cette technique permet d’avoir une empreinte avec une bonne précision. De plus, réaliser l’empreinte de haute viscosité sur modèle permet d’épargner une étape au patient et de la réaliser au préalable, afin de réduire la durée du rendez-vous. Le malaxeur Pentamix® (ou équivalent) est indispensable.

- Double mélange.

Le porte-empreinte est chargé de matériau lourd, tandis que les arcades dentaires sont enduites à la seringue de *light*. Le porte-empreinte est inséré immédiatement, de manière très lente et continue afin de limiter le phénomène de tirage. Cette technique d’empreinte a l’avantage d’être réalisée en un seul temps, mais présente l’inconvénient de favoriser le tirage dans la zone postérieure (manque de compression).

- Technique en un temps modifiée.

Il s’agit de la technique préconisée par Invisalign® depuis octobre 2004. Elle nécessite une grande rapidité d’exécution mais elle permet une économie du Pentamix®. Ici, l’empreinte est réalisée en un temps (plus exactement, en un temps et demi), ce qui est appréciable pour le patient, tout en supprimant les inconvénients de la technique précédente. Les matériaux actuellement recommandés par Align TechnologyInc sont *Aquasil Easy Mix Putty* et *Aquasil Ultra Monophase (light)*. La première étape consiste à réaliser une pré-empreinte de la zone molaire, à l’aide de *putty*. Cette étape permettra d’empêcher, lors de la deuxième étape d’empreinte, la fusée du *light*. Le porte-empreinte est inséré en bouche, afin d’obtenir une empreinte des molaires ; il est désinséré avant polymérisation du matériau. Le *light* est alors immédiatement déposé dans le porte-empreinte, y compris au dessus des zones de *putty*. L’insertion du porte-empreinte devra être lente et progressive. La désinsertion du porte-empreinte se fait après la prise complète du *light*, soit environ cinq minutes après insertion. Il est possible de voir sur l’empreinte les zones de *putty*

puisque celui-ci n'est pas encore polymérisé lors de la seconde insertion [16, 17, 83].

Enregistrement des rapports inter-arcades

L'enregistrement des rapports inter-arcades ne présente pas de difficultés majeures. Les arcades doivent être séchées avant la mise en place du matériau, et ensuite le patient serre les dents jusqu'à la position d'intercuspidation maximale, ou en relation centrée lorsqu'il existe une occlusion de convenance.

Défauts à éviter pour les empreintes

Les erreurs d'empreintes les plus fréquentes, les rendant inexploitable, sont les suivantes :

- Le défaut le plus récurrent est l'enregistrement incomplet des arcades au niveau des dernières molaires. Ce problème peut être évité en choisissant une taille adaptée du porte-empreinte et en utilisant la technique en un temps modifiée. Ce procédé va empêcher le matériau à empreinte de fuser et assure ainsi un enregistrement correct de la face distale des dernières molaires.
- Des irrégularités (plis et rides) sont parfois observables sur les empreintes. Ces phénomènes arrivent lorsque le porte-empreinte est mobilisé avant polymérisation complète du matériau. Cela se produit également lorsque l'empreinte est rebasée, ce qui contre-indique totalement ce procédé.
- La préparation de la bouche avant l'empreinte est particulièrement importante : les arcades doivent être nettoyées et parfaitement séchées pendant la prise d'empreinte. La salive doit être aspirée, notamment à l'arcade mandibulaire, pour éviter la présence d'un film salivaire recouvrant les dents. En effet, celui-ci réduira fortement la définition de l'empreinte.
- On peut également avoir des problèmes de fusion entre les deux matériaux utilisés lorsque l'on réalise des empreintes en double mélange ou avec la technique en un temps modifiée. Ce problème apparaît lorsque le *light* est utilisé alors que le premier matériau est en cours de polymérisation. Ceci est dû au temps de travail des matériaux qui est dépendant de la température : il est calculé à température

ambiante et diminue rapidement une fois mis en bouche. Les deux matériaux doivent donc être insérés rapidement l'un après l'autre. De plus, les matériaux doivent être stockés au réfrigérateur afin d'augmenter le temps de prise.

- Un autre problème à éviter est le contact des dents avec le porte-empreinte, la zone maximale de contact acceptable étant de 1 mm². Pour pallier à ce problème, le porte-empreinte doit être suffisamment rempli de matériau à empreinte et son insertion devra être lente et maîtrisée.

- Un phénomène également fréquent est le tirage. Il n'est pas problématique lorsqu'il se situe à plus de deux millimètres des dents, par contre les zones de tirage touchant les collets imposent une nouvelle prise d'empreinte. Pour réduire ces défauts, il faut bannir l'usage de matériau à prise rapide et privilégier ceux à prise normale.

- Enfin, les manques ou les bulles doivent être absolument évités. Pour cela, l'embout du pistolet doit toujours rester noyé dans le matériau à empreinte déjà déposé [16, 17, 83].

3. 3. 3. 3. 4. Expédition du dossier.

Une fois que les différentes pièces, constituant le dossier, réunies (diagnostic initial, plan de traitement détaillé, radiographies, photographies, empreintes des deux arcades et enregistrement de l'occlusion), il faut les faire parvenir à Align Technology Inc©. Les empreintes et la clé d'occlusion, emballées individuellement dans un sachet à bulles, seront systématiquement envoyées par transporteur UPS. Les autres éléments du dossier peuvent être adressés de deux manières différentes :

- soit par transporteur *UPS*, avec les empreintes, dans une boîte fournie à cet effet par Align Technology Inc©.

- soit par Internet : Le dossier complet (hormis les empreintes) peut être constitué directement par ordinateur. Les photos et radiographies numériques, le formulaire de prescription et diagnostic peuvent être directement envoyés à Align Technology Inc© par Internet. Cette solution, séduisante par son économie de temps, n'est pas idéale puisque Align Technology Inc© demande une confirmation écrite du formulaire

de prescription et diagnostic. De plus, les risques d'erreurs sont augmentés car le dossier arrive par éléments séparés [16, 17, 69, 70, 72, 83].

3. 3. 3. 3. 5. Etude du dossier par Align technologyInc®.

Modélisation 3D des arcades dentaires : les techniques d'acquisition [62, 69, 70, 72, 83].

Le scanner par destruction, décrit dans le chapitre précédent, est la technique d'acquisition employée à l'origine par Align Technology Inc®. Les avantages du scanner à destruction sont :

- précision dépendant de la finesse de coupe, pouvant être augmentée ou diminuée,
- possibilité d'acquisition simultanée des modèles, absence de calibrage et de repositionnement pour différente vue,
- automatisation aisée de la découpe puis du scanner.

Les inconvénients du scanner à destruction sont :

- destruction irrémédiable du modèle,
- obligation de réaliser au préalable une coulée en plâtre de sécurité,
- acquisition en trois temps : coulée, destruction, scannage des coupes, ce qui augmente les sources d'erreur et d'imprécision.

La tomodensitométrie est la technique d'acquisition des empreintes appliquée actuellement par Align Technology Inc®, mais il semble que l'usage du scanner à destruction ne soit pas totalement abandonné. La tomodensitométrie (ou CT scan pour Computerized Tomography) fonctionne par réalisation d'une série de radiographies numériques des empreintes. Ensuite, ces images sont compilées à l'aide d'un ordinateur pour générer une modélisation 3D extrêmement détaillée des empreintes. La tomodensitométrie permet la réalisation de coupes de 116 micromètres, moins précises que le scanner à destruction (coupes de 50 micromètres).

Comparée au scanner par destruction, la tomodensitométrie permet une acquisition directe et ne nécessite donc pas la coulée de l'empreinte en plâtre. Elle respecte l'intégrité de l'empreinte et est insensible aux différents matériaux utilisés. Elle assure également une acquisition rapide et simultanée des deux arcades. Cette technique présente cependant deux inconvénients : les coûts sont plus importants pour la

société et pour le praticien, les empreintes doivent impérativement être réalisées avec des portes-empreintes plastiques, radioclairs, fournis par la société

Génération du modèle virtuel [62, 69, 70, 72, 83].

Une fois les arcades dentaires numérisées, l'étape suivante consiste à individualiser chaque unité dentaire par segmentation des modèles. À partir du modèle brut scanné, chaque dent est individualisée indépendamment de la gencive. On obtient une visualisation des éléments dentaires segmentés. Ce travail est réalisé par informatique à l'aide du logiciel *Treat*. Cette segmentation permet d'isoler les données relatives à chaque dent afin de l'envisager comme une entité géométrique distincte. Ainsi, chaque couronne est colorée afin de distinguer l'anatomie dentaire du tissu gingival. La ligne gingivale est définie par logiciel interposé, les axes des couronnes cliniques des dents sont identifiés puis les dents sont séparées par un algorithme reconnaissant les embrasures interproximales et le contour gingival pour chaque dent. Des racines virtuelles sont créées par extension de l'anatomie coronaire.

Ensuite, un logiciel spécial met les arcades en occlusion puis celle-ci est ajustée manuellement à l'aide des photographies du patient pour une précision maximale. On s'assure ensuite de la précision de l'occlusion en vérifiant que les points de contact correspondent à la réalité, donnée par les photos d'arcades avec papier d'occlusion. A ce stade, chaque dent en 3D représente l'état physique de la dent réelle avant le traitement. Donc, on obtient une arcade dentaire dont les dents sont individualisées.

Le modèle virtuel est alors achevé : la gencive virtuelle a été créée et les arcades sont segmentées en unités dentaires. L'étape suivante, qui consiste à réaliser le set-up, peut débuter.

Set-up [62, 69, 70, 72, 83].

Une fois les arcades segmentées en unité dentaire, la réalisation du set up peut commencer en se conformant aux prescriptions du praticien notées dans le formulaire de diagnostic. Les dents sont déplacées une par une pour obtenir l'arcade idéale souhaitée par le praticien. Après le placement des dents, le technicien reconstitue le tissu gingival qui avait été enlevé lors du découpage. Pendant cette

étape, l'ordre logique et biologique du déplacement dentaire n'est pas du tout pris en compte. En effet, le seul but est d'aligner les dents et d'adapter la version et le torque aux prescriptions de l'orthodontiste.

Séquence des déplacements dentaires [62, 69, 70, 72, 83].

Cette étape a pour but d'organiser les déplacements dentaires permettant de passer de l'état initial au set-up final. Cette fois-ci, les contraintes biologiques doivent être prises en compte. À chaque étape, il faut donc prendre en considération :

- la quantité de déplacement dentaire pour chaque dent,
- la résistance stable et de la résistance mobile,
- l'ordre des déplacements afin de ne pas créer d'interférence dentaire.

Une séquence animée des déplacements est donc créée, celle-ci est envoyée par Internet afin de présenter les mouvements effectués du début à la fin du traitement.

3. 3. 3. 3. 6. Contrôle du ClinCheck par l'orthodontiste

Fonctionnement du ClinCheck [17, 69, 70, 72, 83].

Une fois le traitement virtuel réalisé, le fichier est transmis au praticien via Internet. Lors de la première utilisation, il faut télécharger le logiciel ClinCheck. Si le terme "ClinCheck" désigne à l'origine le logiciel, il est également utilisé par extension pour le traitement virtuel en lui-même. ClinCheck va permettre de :

- visualiser le traitement virtuel en observant les séquences des déplacements dentaires, étape par étape.
- connaître le nombre d'*aligners* nécessaires par la "barre de progression".
- "manipuler" les arcades virtuelles pour les observer sous l'angle désiré.
- contrôler la charte de R.I.P. (réduction interproximale amélaire : *stripping*)
- contrôler les attachements ou taquets (formes tridimensionnelles collées sur les dents et qui ont pour objectif soit de faciliter le déplacement dentaire, soit d'augmenter la rétention de l'*aligner*) proposés, qui sont représentés en rouge sur les dents concernées. Il est possible de ne pas les afficher.
- la "boîte de dialogue" permet de demander des modifications du traitement proposé.

Cependant, il faudra fournir les moyens thérapeutiques pour y parvenir (recul molaire, R.I.P., extractions...). En effet, le technicien Invisalign® chargé de modifier le ClinCheck ne peut savoir comment aboutir à nos objectifs de traitement s'il n'a aucune précision. Le praticien est bien seul maître et responsable des options thérapeutiques choisies. Depuis 2006, les "praticiens Platinum" (cette appellation correspond aux praticiens avec un nombre important de cas traités par Invisalign®) ont un technicien référent au sein du laboratoire Align Technology Inc®. L'orthodontiste travaille donc toujours avec la même personne, ce qui réduira les difficultés de communication. ClinCheck possède de plus des options (grilles, superpositions...) permettant de mieux observer les effets de la thérapeutique. Il est enfin possible d'exporter des images ou des animations du traitement, afin de les transmettre aux correspondants.

A partir du plan de traitement original de l'orthodontiste, un premier ClinCheck est réalisé. Celui-ci peut être revu, en modifiant le plan de traitement initial. Cette boucle ne s'achève que lorsque le praticien est entièrement satisfait du ClinCheck proposé et l'accepte. Le plan de traitement final peut alors débuter. Il pourra éventuellement être revu en cours de traitement (révision en cours de traitement) si les résultats cliniques sont différents de ceux escomptés.

Contrôle de l'occlusion [69,70].

La première étape du contrôle du ClinCheck consiste à observer les rapports intra- et inter-arcades de fin de traitement, et de les confronter aux objectifs de traitements fixés. Les modèles peuvent être déplacés dans toutes les directions et être observés indépendamment l'un de l'autre. De plus, ClinCheck propose un zoom assurant une meilleure visualisation des détails. On peut regretter qu'il ne soit pas possible d'observer les contacts occlusaux ou la qualité des points de contact, des fonctions que permettent d'autres logiciels de traitement virtuel des arcades, comme OrthoCad®.

Visualisation du déplacement dentaire global et de la forme d'arcade [17, 69, 70, 72, 83].

Deux fonctions de ClinCheck permettent de mieux visualiser le déplacement dentaire global effectué : il s'agit des superpositions d'arcades et des grilles millimétrées.

- Superposition d'arcades.

En superposant le début et la fin de traitement, il devient possible d'observer :

- le déplacement global réalisé pour chaque dent ;
- la quantité de vestibuloversion réalisée ;
- la quantité d'expansion transversale ;
- les modifications des distances dentaires ;
- les modifications apportées à la forme d'arcade.

Après ce contrôle, on peut demander des modifications dans le traitement, si l'on estime que les paramètres précédents (et notamment la forme d'arcade) sont peu compatibles avec la stabilité des résultats obtenus. Cette demande se fait par l'intermédiaire de la boîte de dialogue.

- Grille millimétrée.

Les grilles millimétrées permettent de quantifier précisément le déplacement dentaire lorsqu'elles sont utilisées en association avec les superpositions d'arcades. Il existe trois grilles correspondant aux trois plans de l'espace chaque grille peut être déplacée à l'aide d'une "roue" dans toutes les directions afin de la positionner précisément à l'endroit que l'on souhaite mesurer.

Contrôle des étapes [17, 69, 70, 72, 83]

- Le nombre d'étapes.

Ce nombre est directement lié à la quantité de déplacement à réaliser. Seul le premier *aligner* effectue un déplacement de 0.1 mm, pour le confort du patient qui n'est pas encore habitué. Par défaut, les *aligners* sont fabriqués pour réaliser un déplacement dentaire compris entre 0,25 et 0,33 mm maximum ou 4,6 degré de rotation par dent et par étape. Quant aux traitements nécessitant de la distalisation molaire, ils sont plus longs que les autres car cette phase se fait très progressivement afin de préserver l'ancrage. Le praticien devra adapter le nombre d'étapes proposé, en tenant compte de deux paramètres : la demande du patient. Celui-ci s'est généralement fixé un budget et une durée maximale de traitement. De plus, l'expérience clinique montre qu'un traitement de plus de 24 mois (soit 52

aligners s'ils sont portés 15 jours) est souvent très difficile à gérer, tant la motivation s'émousse au fil du temps. Le praticien s'expose à des déplacements dentaires au pronostic incertain lorsque le traitement s'allonge trop. En effet, l'accumulation de petites imperfections, si elle est acceptable et sans conséquence lors d'un traitement court, risque de rendre les *aligners* totalement inadaptés si le traitement est long. Cette situation obligerait le praticien à demander une révision du cas en cours de traitement, pour obtenir un nouveau jeu d'*aligners*. On peut se demander s'il ne vaut pas mieux, dans le cas d'un traitement long, programmer celui-ci en deux temps : avec réévaluation en milieu de traitement et nouvelles empreintes pour les *aligners* suivants.

- Faisabilité des étapes.

Align TechnologyInc® se positionne comme un grand laboratoire de prothèse qui ne fait que réaliser le dispositif demandé par le praticien (sans juger du bien fondé des choix de traitement). Par conséquent le praticien doit avoir un solide sens clinique afin d'être à même d'apprécier la compatibilité du traitement virtuel proposé avec la réalité biologique. En effet, il est tout à fait possible de demander à ClinCheck de réaliser un recul molaire mandibulaire de 6 mm, ou encore une expansion transversale démesurée. Si le traitement virtuel sera visuellement satisfaisant, la réalité clinique sera sans doute différente. D'ailleurs Align TechnologyInc® spécifie en haut de toute proposition de traitement virtuel la mention suivante : "gencive et mouvements dentaires simulés ; le résultat clinique peut être différent ». Ainsi, il est important de bien connaître les déplacements dentaires difficilement réalisables en technique Invisalign®. En effet, ces derniers se réalisent très bien sur ClinCheck, bien que leur pronostic soit très incertain ! Par exemple, sont à proscrire : les égressions postérieures, ainsi que les égressions antérieures multiples et les mouvements de torque, ou les grandes translations.

- Ordre des étapes.

Chaque *aligner* ne remplira pleinement sa fonction que si l'*aligner* précédent l'a parfaitement fait. Cette interdépendance des *aligners* impose une gestion et un ordre des étapes. Ainsi, il est plus judicieux de programmer les étapes au pronostic incertain en dernier. ClinCheck le fait normalement spontanément, notamment pour les égressions incisives. Cependant, il existe d'autres déplacements "à risque" que

ClinCheck ne met pas obligatoirement à la fin. Pour les déplacements au pronostic incertain, la marche à suivre est la suivante :

- 1- Demander des attachements complémentaires.
- 2- Placer ce déplacement en fin de traitement.
- 3- Savoir avoir recours aux auxiliaires ou les réaliser par une phase de traitement préalable.

- Synchronisation de la fin du traitement au niveau des arcades.

Si le nombre d'*aligners* n'est pas identique aux deux arcades, deux alternatives sont possibles : soit les traitements des deux arcades débutent en même temps et une arcade est donc achevée avant l'autre ; soit les traitements ne débutent pas au même moment mais les deux arcades sont achevées en même temps. Les conséquences ne seront pas les mêmes selon l'alternative.

Contrôle des Réductions Inter-Proximales (R.I.P) [17, 69].

- Quantités et moments de R.I.P.

Si le cas l'impose et si le praticien ne s'y est pas opposé en remplissant le formulaire de prescription et diagnostic, ClinCheck peut proposer des R.I.P. Les zones concernées par les R.I.P. sont présentées sous forme de charte. La charte précise la quantité de stripping à effectuer ainsi que l'étape avant laquelle la totalité du stripping doit être réalisée. Il est possible de stripper un espace inter dentaire en plusieurs séances, cependant il est cliniquement beaucoup plus simple de le faire en une seule fois pour limiter les risques d'erreur.

Dans un premier temps, Il faudra vérifier que les quantités de R.I.P, proposées pour atteindre les objectifs de traitement fixés, soient médicalement réalisables. Seul un examen radiologique précis peut fournir des éléments de réponse. Ensuite, le praticien devra confronter la charte de stripping avec les étapes du ClinCheck. Cela va permettre de contrôler si les moments de stripping proposés sont techniquement réalisables. Ainsi, il regarde si l'accès à la zone de stripping est suffisant pour accomplir la R.I.P. dans de bonnes conditions ou s'il faut poursuivre l'alignement pour faciliter le stripping.

[illegible]

- Localisation des R.I.P.

Le praticien devra vérifier sur la charte la localisation des R.I.P et faire les modifications qu'il souhaite. Ainsi il pourra préférer augmenter la R.I.P sur des dents avec reconstitutions par amalgames ou composites pour la limiter sur les dents saines. De même, il pourra privilégier les réductions dans les zones où les pertes d'attaches provoquent l'apparition de "triangles noirs". Le stripping réduira leur effet inesthétique en fin de traitement. Il faudra être particulièrement vigilant quand il y a un bridge : en effet, s'il existe dans le formulaire de prescription et diagnostic un cadre pour spécifier les dents sur lesquelles on ne veut pas mettre de taquet, il n'y a aucune zone pour préciser les dents que l'on ne peut stripper ! Certes, le dossier envoyé à Align TechnologyInc comporte une radiographie panoramique, mais les couronnes soudées passent inaperçues sur ce cliché.

Contrôle des attachements [17, 69, 70, 72, 83].

ClinCheck pose de manière automatique des attachements lors de certains déplacements dentaires à réaliser. Leurs épaisseur et position sont prédéfinies. Si les attachements augmentent la rétention de *l'aligner*, leur multiplication peut rendre

la désinsertion difficile. Pour palier à ce problème, Align TechnologyInc® recommande d'essayer de ne pas poser plus de quatre taquets par arcade.

Figure 1 Attachments may be requested in a vertical or horizontal orientation.

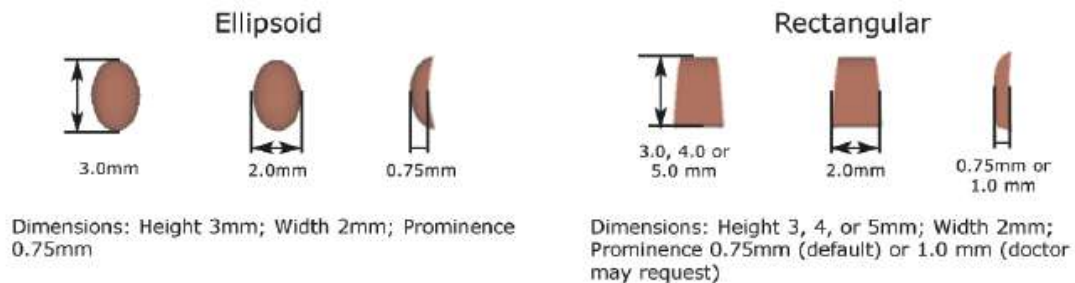


Fig. 88 : les formes des attachements Invisalign®. [69]

- Attachements posés automatiquement par ClinCheck :

Les taquets les plus fréquemment utilisés sont soit ovales, soit rectangulaires. Les taquets ovales sont utilisés en cas de dérotation, d'égression ou d'ingression. Ainsi ClinCheck place automatiquement un taquet ovale vertical pour toute dérotation, égression ou ingression.

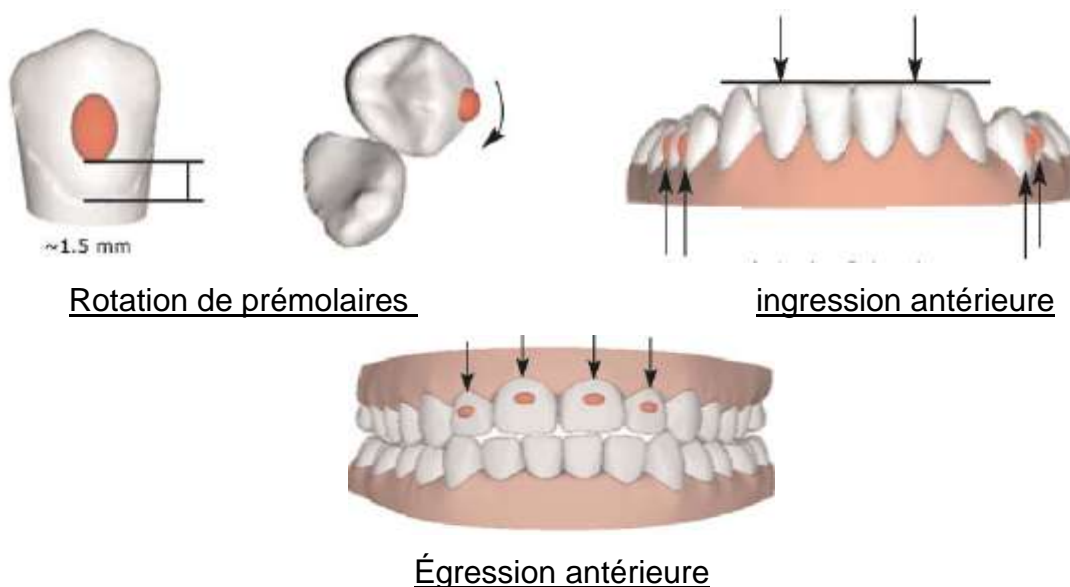
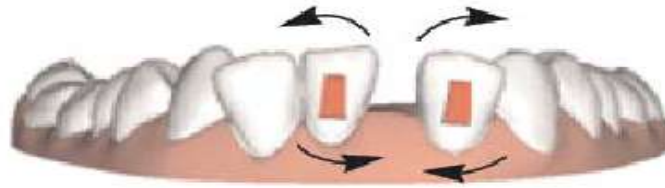


Fig. 89 : les localisations des attachements ovales. [69]

Les taquets rectangulaires sont placés pour aider au contrôle de la version, notamment en cas de traitement avec extractions. En cas d'extraction d'une incisive mandibulaire, ils sont placés automatiquement sur les deux dents adjacentes au site d'extraction. En cas d'extraction de prémolaires, des taquets rectangulaires sont

placés automatiquement sur les deux dents adjacentes aux sites d'extractions, ainsi que sur la première molaire.



Extraction d'une incisive inférieure

Fig. 90 : la localisation des attachements rectangulaires. [69]

Bien sûr, le praticien peut modifier la forme, la position, le nombre ou le moment de pose des attachements par l'intermédiaire de la boîte de dialogue.

- Protocole de mise en œuvre des attachements [69].

Etape 1 : préparation

- Examiner attentivement la gouttière de collage jointe à l'envoi des gouttières, ainsi que le formulaire de positionnement des taquets afin de définir où placer ceux-ci.
- Contrôler que la gouttière de collage est bien adaptée et effectuer toute modification éventuelle à l'aide de ciseaux.
- Isoler l'arcade avec des écarteurs, afin d'assurer une bonne insertion de gouttière.
- Préparer les dents avec un etching.
- Rincer soigneusement chaque dent.
- Sécher chaque dent en l'isolant avec des rouleaux de coton si nécessaire.
- Mordancer chaque dent pendant 15 secondes.
- Rincer chaque dent pendant 30 secondes.
- Sécher à l'air chaud jusqu'à ce que chaque dent soit complètement sèche

Etape 2 : pose

- Mettre une mince couche d'adhésif sur la dent et photo polymériser
- Vérifier que la gouttière de collage est sèche et propre.
- Placer le composite couleur émail dans les alvéoles de la gouttière.
- Placer la gouttière de collage sur les dents du patient.
- Photopolymériser chaque taquet pendant 20 à 30 secondes

Etape 3 : ajustement

- Selon le nombre de taquets requis, la rétention peut sensiblement augmenter.
- Utiliser éventuellement un grattoir pour soulever le bord de la gouttière de collage.
- Après avoir retiré la gouttière de collage, éliminer tout composite excédent. Prendre garde à ne pas briser les taquets.
- Avant d'ajuster parfaitement le taquet, vérifier qu'il n'y a pas de rétention excessive.
- Il peut s'avérer nécessaire de réduire le taquet à l'aide d'une fraise de finition pour faciliter le retrait de la gouttière.

Etape 4 : dépose

A l'aide d'une pince à déposer, séparer le taquet de la dent en exerçant une légère pression. Utiliser éventuellement un disque de polissage ou une fraise de finition pour éliminer toute trace de composite résiduel.

Récapitulatif sur le placement des taquets

Situation :	Automatique	sur demande*
Rotations de prémolaires	●	
Rotations d'autres dents		✓
Ingressions antérieures	●	
Égressions antérieures 2-2	●	
Égressions d'autres dents		✓
Extractions d'incisives mandibulaires	■	
Extractions de prémolaires	■	
Autres extractions		✓
Inclinaison (tipping/torque) de dent		✓
Rétention		✓

Fig. 91 : tableau récapitulatif. [69]

Contrôle des pontiques [69,70].

Les pontiques sont utilisés lorsqu'une dent est absente ou dans le cas d'un traitement avec extraction : les dents absentes sont remplacées par des dent prothétiques incluses dans l'*aligner*, afin de préserver l'esthétique. Le praticien devra combler les *aligners* au niveau des pontiques avec du composite. Un kit spécial de résine est proposé par Align TechnologyInc®, la résine est compatible avec le polycarbonate de l'*aligner*, auquel elle adhère. En cas de traitement avec extraction, le diamètre mésio-distal du pontique diminue au fur et à mesure de la fermeture d'espace. Il disparaît quand l'espace est inférieur à 2 mm. Les pontiques ne sont mis qu'à la demande du praticien. De plus, si la zone édentée ne doit pas être fermée, il s'agira de bien définir la largeur du pontique à mettre.

Contrôle du set-up chirurgical [69, 70].

Il est possible à partir de ClinCheck de réaliser un set-up chirurgical : les premières étapes du ClinCheck correspondent à la préparation orthodontique qui peut être réalisée par *aligners* ; la dernière étape du ClinCheck matérialise le déplacement des bases osseuses par l'intervention chirurgicale. Ce set-up permet donc au praticien, en cas de préparation orthodontique pré-chirurgicale par technique Invisalign® de mieux apprécier la qualité de cette préparation et la coordination des arcades.

3. 3. 3. 3. 7. Réalisation des *aligners*.

Matériau employé [72, 83, 137].

Les *aligners* sont réalisés à partir de feuilles d'EX40™ ou EX30™, matériau en polyuréthane. Sa souplesse est modulable selon les différents adjuvants et assure un compromis entre confort de port et efficacité. Les *aligners* ont été réalisés initialement en plaque de 1 ou 0,75 mm ; seule cette dernière épaisseur est encore d'actualité. Ce matériau, parfaitement biocompatible, reste inerte et inaltérable dans la salive, il est sans odeur, sans saveur, transparent et insensible au contact des détergents. Il présente de plus une bonne résistance à la déchirure et à l'abrasion.

Technique employée : la stéréolithographie [137]

Après l'établissement d'un traitement virtuel par l'intermédiaire du logiciel ClinCheck, permettant de passer des arcades initiales au set-up final, il est nécessaire de modéliser physiquement les arcades. On veut réaliser des modèles en résine, correspondant aux différentes étapes du traitement virtuel. C'est sur ces modèles que les *aligners* seront thermoformés. La stéréolithographie représente le moyen le plus fidèle d'obtenir ces supports de thermoformage (*voir chapitre 2, partie 2.4.2.3.2*).

La stéréolithographie permet la création rapide d'un objet 3D en résine, à partir d'un fichier numérique. Il s'agit d'une méthode de fabrication par dépôt de fines couches dans l'espace, basée sur la photopolymérisation. Ainsi, à partir d'un fichier numérique, les pièces sont construites dans une résine liquide. Le procédé initialement breveté aussi bien en France qu'aux Etats-Unis, par ANDRE puis HULL, repose sur la polymérisation d'une résine liquide par laser ultraviolet.

La résine contenue dans une cuve se solidifie couche par couche sous l'action d'un laser balayant la surface du monomère. Le modèle est obtenu grâce au mouvement d'une plate-forme supportant l'objet et qui descendant après polymérisation de chaque couche. Ainsi, l'objet est fabriqué de bas en haut.

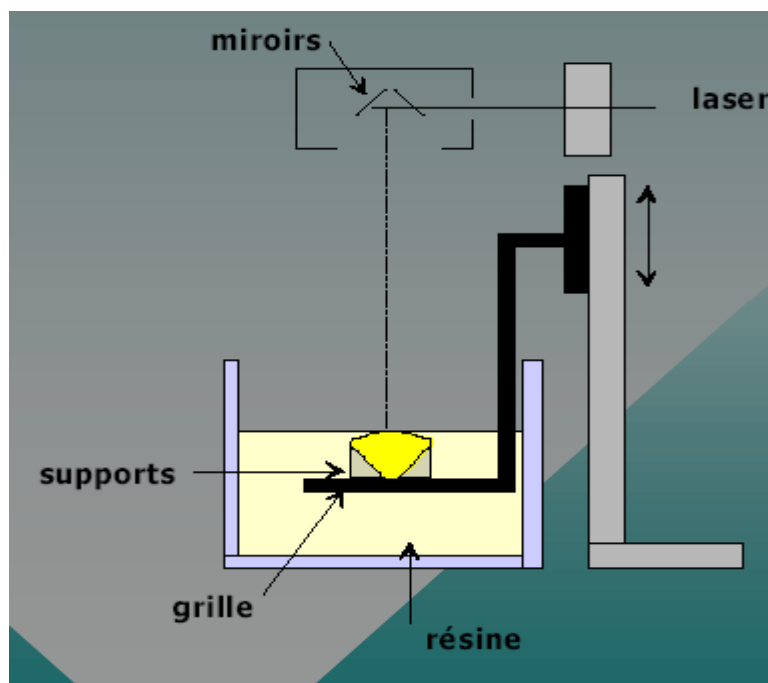


Fig.92 : schéma d'un stéréolithographie.

Depuis, d'autres procédés exploitant des techniques différentes ont fait leur apparition sous la même appellation. Tous ces procédés fabriquent une pièce solide par empilement successif de fines couches horizontales.

En 1997, la société Align TechnologyInc© adapte le processus industriel de stéréolithographie aux arcades dentaires. Il devient, dès lors, possible de réaliser des modèles en résine, correspondant aux différentes étapes de déplacements dentaires. Ce sont ces modèles qui vont servir de support pour thermoformer les *aligners*. Align TechnologyInc© est par ailleurs la première société à utiliser la stéréolithographie pour une production de masse.

La réalisation du modèle en résine puis de l'*aligner* est résumée comme suit :

- Partant du bac de résine photosensible, un laser en frappe la surface permettant une polymérisation couche par couche. La grille support s'enfonce alors progressivement à chaque passage ; les modèles positifs se forment.
- Les modèles sont numérotés et lavés. Le modèle ainsi formé n'est pas parfaitement lisse, des stries apparaissent liées au degré de définition de l'appareil de stéréolithographie. Ces stries seront également visibles sur l'*aligner* thermoformé.
- Servant de guide, chaque modèle assurera la réalisation, par plaques thermoformées, d'un *aligner*. La technique de thermoformage s'est modernisée et est actuellement automatisée.

Conditionnement et envoi des *aligners* [72, 83, 137]

Les *aligners* thermoformés sont ensuite découpés et ajustés jusqu'à 0,5 mm du bord gingival afin d'assurer un maximum de confort et de discrétion pour le patient. Après polissage et désinfection, les *aligners* sont conditionnés sous blister. Chaque boîte contient un *aligner* maxillaire et un mandibulaire. L'emballage est identifié au nom du praticien et à celui du patient ; il comporte la date d'emballage et le numéro de l'étape de traitement. Chaque *aligner* est également marqué au laser sur la face occlusale d'un numéro identifiant le patient, d'un U (Upper) ou d'un L (Lower), et du numéro de l'étape de traitement. Il faut compter entre deux à trois semaines la durée moyenne entre l'acceptation du ClinCheck et la réception par le praticien des *aligners*.

3. 3. 3. 4. Indications et limites cliniques.

Invisalign® ne s'adresse qu'aux patients adultes et aux adolescents ayant fini leur croissance et dont les secondes molaires sont entièrement évoluées. Les cas en denture mixte, ou avec des dents permanentes en éruption sont donc proscrits, pour l'instant. Comme pour tout traitement orthodontique de l'adulte, il peut s'agir d'un traitement pré-chirurgical ou pré-prothétique. S'il est possible de ne traiter qu'une seule arcade, il n'est pas conseillé de traiter une arcade par *aligners* et l'autre par technique multi-attache, en raison des difficultés de coordination de forme d'arcade [86].

3. 3. 3. 4. 1. Indications.

Les déplacements réalisables [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134, 138].

- Correction des rotations

Au niveau incisif, jusqu'à 45°.

Au niveau canin, jusqu'à 30°.

Au niveau postérieur (molaire et prémolaire) : jusqu'à 15°.

- Correction des Versions

Au niveau antérieur.

Correction des mésio-versions molaires : 10° à 20°.

- Ingression

Au niveau incisif : 2 mm par arcade.

Au niveau molaire : 1 mm maximum, sur une seule dent. Les dents adjacentes doivent comporter des taquets.

- Egression

Au niveau incisif : 1mm par arcade, les dents doivent être munies de taquets.

Au niveau postérieur : ce déplacement semble très difficile, voire impossible.

- Expansion transversale

En translation : 2 à 3 mm par quadrant. En vestibuloversion des secteurs latéraux : 20 à 30°.

- Expansion sagittale

Par distalisation : 2 à 3 mm par vestibuloversion incisive : 20 à 30°.

- Mouvement de torque incisif

15° maximum, en augmentant la durée de port.

Les traitements possibles

Après cette revue des différents déplacements réalisables par *aligners*, les malocclusions pouvant être traitées par *aligners* vont pouvoir être énumérées. Les indications de traitements sont classées par ordre croissant de difficultés. Il faut savoir que les *aligners* sont particulièrement efficaces pour la fermeture des espaces et pour la correction d'encombrements faibles à modérés, traités par expansion ou stripping.

- La fermeture des diastèmes [19, 72, 86, 138].

Les étiologies des espaces interdentaires sont multiples : les diastèmes peuvent être liés à une dent absente suite à une agénésie ou à une extraction, à une Dysharmonie Dento-Dentaire, ou à une vestibuloversion dont l'origine peut être fonctionnelle ou consécutive à la maladie parodontale. Le traitement par *aligners* des diastèmes antérieurs est plus facile. On peut fermer des espaces allant jusqu'à 6 mm.

- En cas de diastèmes antérieurs uniquement maxillaires, la fermeture d'espace se fera par rétraction incisive.

- En cas de diastèmes antérieurs bi-maxillaires, la fermeture totale des espaces est envisageable par *aligners*. Cependant, si l'étiologie fonctionnelle n'est pas corrigée, une contention définitive pourra être indiquée.

- Par contre si les diastèmes sont trop importants pour obtenir une fermeture totale (cas de DDD, d'extraction ou d'agénésie), le traitement par *aligners* aura pour objectif la répartition des espaces (ce qui optimisera les reconstitutions prothétiques nécessaires à la fermeture).

- Les cas de fermeture de diastèmes postérieurs, nécessitant des déplacements de grande amplitude en translation, sont peu indiqués pour être corrigés uniquement par *aligners*.

- Gestion des encombrements [19, 86, 88, 134].

La manière de corriger l'encombrement est fonction de la forme d'arcade, du parodonte, du comportement neuromusculaire et de la sévérité de l'encombrement.

On pourra, en fonction de ces paramètres, envisager différents moyens :

- Par vestibuloverision.
- Par expansion transversale.
- Par réduction interproximale (stripping)
- Par extraction d'une incisive mandibulaire.
- Par distalisation maxillaire en cas de rapport de classe II.
- Par extraction de prémolaire.

Si le praticien ne spécifie rien dans le formulaire de prescription et diagnostic, l'encombrement est corrigé en utilisant l'ordre suivant : expansion, puis vestibuloverision, puis R.I.P.

- Le stripping est sans doute la technique la moins classiquement utilisée en Europe, alors qu'elle est très fréquemment associée aux traitements par *aligners* thermoformés outre atlantique. La réduction interproximale trouve des indications dans les traitements pour adulte en facilitant la correction des encombrements, liés à une DDD ou à une DDM. Il s'agit d'une alternative aux extractions qui permet d'ajuster exactement l'espace nécessaire à l'espace disponible, tout en limitant les déplacements dentaires. De plus, la gestion de l'ancrage est simplifiée par rapport à un traitement avec extractions, ce qui rend cette technique particulièrement appréciable lors d'un traitement avec *aligners* thermoformés (les grands déplacements dentaires en gression étant très difficiles et les renforts d'ancrage limités). En ce qui concerne la quantité de stripping, lors d'un traitement par *aligners* Invisalign®, il est tout à fait possible de fixer soit même la limite maximale de stripping. Cependant, les quantités proposées par Align TechnologyInc sont rarement supérieures à 0,5 mm par point de contact.

- Les cas d'extraction d'incisive mandibulaire sont plutôt rares. L'orthodontiste est souvent réticent, craignant des perturbations importantes de l'occlusion. Ces modifications l'occlusion dues à l'extraction d'une incisive mandibulaire peuvent être parfaitement étudiées lors de l'étape du ClinCheck. Le ClinCheck permettra d'effectuer toutes les simulations nécessaires au choix thérapeutique : traitement de l'encombrement par expansion, stripping, extraction d'une incisive... Il est donc très intéressant de réaliser l'empreinte servant à la réalisation du ClinCheck avant toute extraction. Le risque de mésioversion des dents adjacentes au site d'extraction pourra être limité par l'usage de taquets rectangulaires. [88]

- Extractions de prémolaires : Les *aligners* rencontrent des difficultés pour fermer les espaces tout en contrôlant les axes des racines, malgré l'usage de taquets rectangulaires. Le risque de version des dents dans les sites d'extractions ne doit pas être sous-estimé.

- La correction des articulés inversés antérieurs d'origine dentaire, La correction d'articulé inversé antérieur est simplifiée en technique Invisalign® : d'une part les *aligners* créent une surépaisseur postérieure, favorisant la désocclusion antérieure, et d'autre part ils facilitent le glissement des dents antagonistes entre elles lors de la correction de l'articulé inversé.

- La correction de classe II.

Le traitement de la classe II sans extraction est particulièrement indiqué pour corriger les récives de traitement initialement traité par extraction. Les classes II unilatérales pourront également être une indication de traitement sans extraction. La technique Invisalign® a le mérite de proposer un appareillage unique pour le recul molaire et la suite du traitement, qui nécessite une coopération importante mais qui est peu contraignante pour le patient. Cependant, les possibilités de correction de la classe II par recul molaire à l'aide des *aligners* ne sont pas infinies : il est préconisé de se limiter à 2 à 3 mm maximum de recul molaire.

La distalisation des molaires maxillaires est une réalité ; par contre, vouloir distaler les molaires mandibulaires reste utopique.

Traitement de la classe II avec extraction : Les difficultés liées au traitement avec extractions déjà évoquées précédemment sont bien entendu de nouveau rencontrées. Plusieurs méthodes sont proposées afin de maintenir le parallélisme des racines durant la fermeture d'espace [70, 72, 85, 134, 138].

3. 3 .3. 4. 2. Contre-indications absolues et relatives.

Liée à l'état psychologique du patient

L'efficacité étant directement liée à la durée de port des *aligners*, le praticien devra apprécier la capacité d'un patient à se plier à cet impératif, notamment lorsque celui-ci présente un trouble psychologique. De même, lorsque Invisalign® est proposé à des adolescents, il faudra évaluer leur degré de coopération avant de débiter le traitement.

Liée aux contextes pathologiques [70, 72, 85]

Comme tout traitement orthodontique, Invisalign® est contre-indiqué chez les patients présentant une dysfonction crânio-mandibulaire (DCM). Cette contre-indication reste relative, puisque certains praticiens ont présenté récemment des cas de DCM traités par *aligners* Invisalign®.

Cette technique est également contre-indiquée en cas de maladie parodontale active. Une fois le parodonte assaini, le traitement orthodontique peut normalement débiter. Il faut souligner que les *aligners* Invisalign® présentent l'avantage de ne pas imposer de modifications de la technique de brossage ; la maintenance parodontale est donc simplifiée.

Comme pour n'importe quel autre traitement orthodontique, le début de traitement par la technique Invisalign® ne peut être réalisé en présence de dents cariées. En effet, si une dent nécessite une restauration en cours de traitement, celui-ci doit être arrêté, et une nouvelle empreinte PVS risque d'être nécessaire si l'anatomie dentaire de la dent soignée est modifiée. La fâcheuse conséquence est que cela rend la première série d'*aligners* inadaptée.

Liée à l'anatomie dentaire

Avant de vouloir entreprendre un traitement par technique Invisalign®, il est nécessaire d'observer l'anatomie dentaire. On obtient de meilleurs résultats lorsque la surface de contact entre l'*aligner* et la dent est importante. Ainsi la hauteur des couronnes cliniques est très importante : la rétention des *aligners* est fortement diminuée lorsque la hauteur des couronnes cliniques est réduite. En effet, la rétention dépend de la surface en dessous de la ligne de plus grand contour. Il est possible de palier à ce problème, assez fréquent au niveau des molaires mandibulaires, en ajoutant des taquets postérieurs. Si la rétention peut ainsi être améliorée, le déplacement reste difficile. Mais en cas de hauteur molaire mandibulaire très réduite, il faudra s'orienter vers une technique multi-attache vestibulaire.

Liée au déplacement dentaire à réaliser [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134, 138]

- Egression

L'égression est sans doute le déplacement le plus incertain par *aligner*. La raison principale est l'absence de contre dépouille suffisante au niveau dentaire pour permettre à l'*aligner* de s'agripper à la couronne. Les égressions postérieures multiples ne sont pas réalisables par *aligners*. On peut par contre envisager l'égression d'une molaire (préférentiellement maxillaire), celle-ci devant être munie de taquet. Ainsi le traitement des béances latérales par la technique Invisalign® est contre-indiqué. De même, il est donc contre-indiqué de vouloir corriger une supraclusion antérieure par égression molaire. Le seul mode de correction de la supraclusion par Invisalign® est l'ingression incisive, or il existe bon nombre de supraclusions liées à une infra-alvéolie molaire.

L'égression antérieure est d'un pronostic moins sombre que l'égression postérieure, mais l'amplitude du déplacement reste limitée. Ainsi, les béances antérieures sont difficilement traitables par *aligners*. Le pronostic est moins défavorable lorsque le mouvement de fermeture est associé à une correction de la vestibuloversion incisive, celle-ci ayant naturellement tendance à fermer la béance antérieure.

- Ingression en masse

Cette contre-indication relative n'est pas mentionnée par Align TechnologyInc®. Pourtant, cliniquement, on peut constater que la levée de la supraclusion par mouvement d'ingression est assez difficile. Cela l'est d'autant plus lorsque l'ingression doit être associée à la rétraction incisive, qui tend plutôt à égresser les dents. Les possibilités d'ingression restent modérées, la correction de la supraclusion se faisant beaucoup plus facilement lors d'un mouvement combiné d'ingression et de vestibuloversion.

- Dérotation de prémolaires

La dérotation de prémolaires est l'une des difficultés reconnues depuis les débuts de la technique, même assistées de taquets les possibilités de dérotation sont mesurées. La dérotation maximale possible par *aligners*, associés à deux taquets vestibulaire et lingual, est de 20 à 30 degrés. En présence d'une dérotation trop importante, le traitement par *aligners* ne pourra être entrepris qu'après une phase de traitement initiale permettant de lever la contre-indication.

- Translation

Les déplacements de grande amplitude en translation sont difficilement réalisables par *aligners* seuls. Cette limite ne rend pas les traitements par extraction impossible mais impose une sélection rigoureuse du cas. Lorsque le déplacement doit être réalisé en translation pure, il faudra augmenter la durée de port tout en ayant recours à des taquets rectangulaires ou réaliser un traitement préalable.

- Redressement d'axe molaire

Les dents inclinées à plus de 45° posent un problème en raison de leurs contre-dépouilles importantes. Pour redresser la dent, l'*aligner* doit passer dans la contre-dépouille, ce qui entraîne fréquemment la fracture de l'*aligner* à la pose ou à la dépose.

- Recul en masse

Invisalign® est une technique intra arcade, ne permettant pas le contrôle de l'ancrage et des rapports inter arcades. Le développement de renforts d'ancrage et de mécaniques inter-maxillaires est essentiel et semble être en cours. Sans mécanique inter-arcade, la correction maximale des rapports antéro-postérieurs est de 2 mm par recul molaire maxillaire.

Liée à l'occlusion en intercuspidation maximale

Il paraît assez difficile de traiter un patient par technique Invisalign® si l'intercuspidation maximale est une occlusion de convenance. En effet, l'enregistrement des rapports inter arcades devra se faire non pas en intercuspidation maximale mais en relation centrée (RC). Quant au traitement virtuel, il sera basé sur cette occlusion en RC. Il faudra donc observer très attentivement le chemin de fermeture du patient avant d'entreprendre un traitement Invisalign®, à la recherche de toute déviation.

3. 3. 3. 5. Avantages pour le praticien et le patient.

3. 3. 3. 5. 1. Pour le praticien.

Aide à l'établissement du plan de traitement

Le nombre de set-up virtuels n'étant pas limité, l'orthodontiste pourra simuler plusieurs options thérapeutiques sur un même cas, afin de choisir la solution la plus appropriée. Ainsi, il pourra simuler un traitement avec ou sans extraction, avec RIP, avec chirurgie... Si la simulation de traitement existe depuis longtemps grâce aux set-up classiques en plâtre, il faut reconnaître que l'informatique allège le protocole et permet de multiplier les études. Le choix du plan de traitement est simplifié puisque le praticien peut visualiser les conséquences de ses choix thérapeutiques. Cependant, le set-up reste virtuel, et la faisabilité du traitement reste à l'appréciation de l'orthodontiste.

Visualisation de l'amplitude du déplacement dentaire

Grâce aux superpositions d'arcades et aux grilles millimétrées, le set-up virtuel va permettre de visualiser et de quantifier le déplacement dentaire effectué. Le respect de la forme d'arcade peut donc être contrôlé, ainsi que la quantité de repositionnement incisif.

Communication et plan de traitements pluridisciplinaires

S'agissant des traitements pluridisciplinaires, la visualisation du plan de traitement facilite la communication entre les différents intervenants. L'orthodontiste peut clairement exposer ses objectifs de traitement et les confronter avec les impératifs prothétiques du Chirurgien Dentiste chargé des reconstitutions, ou avec le Chirurgien Maxillo-facial dans le cadre de traitements orthodontico-chirurgicaux.

Réduction de la durée des rendez-vous et urgences plus rares

Selon Align TechnologyInc®, le traitement par technique Invisalign® réduit la durée des rendez-vous de 28% à 40%. Ce gain de temps considérable résulte de la réduction des actes à effectuer lors des rendez-vous. Les contrôles sont nombreux mais les gestes techniques sont moindres, lorsque le traitement se déroule sans problème. Quant aux cas d'urgence, ils sont très limités : il peut s'agir de taquets décollés, d'*aligners* irritants, ou encore de casse. Contrairement aux techniques multi-attaches, et plus particulièrement aux techniques linguales, les urgences pour appareils cassés sont rares en technique Invisalign®. On constate donc une simplification de la gestion de l'agenda et du planning quotidien. On devra par contre faire face à quelques cas de perte d'*aligners*, phénomène propre aux techniques amovibles et qui constitue une difficulté pour la gestion.

Simplification des gestes techniques

Les actes thérapeutiques sont considérablement réduits par rapport aux techniques multi-attaches. Par exemple lors d'un traitement simple, sans auxiliaires, les seuls gestes techniques que l'orthodontiste doit effectuer sont les R.I.P. et la pose (ou réfection) des taquets. En cas de traitement plus complexes, il faut être en mesure de coller des boutons sur les dents, d'ajouter des crochets sur les *aligners*, de les découper ; ce qui ne constitue pas une difficulté majeure. De plus, cette simplification

des gestes réduit les besoins en instruments et donc en temps de stérilisation. La gestion de stock et les achats de petites fournitures sont simplifiés.

Le Clin Check : un moyen de motivation

En technique Invisalign®, les objectifs thérapeutiques et les différentes phases de traitement sont beaucoup plus simples à expliquer au patient, grâce au support visuel constitué par ClinCheck. La motivation du patient est entretenue car il peut suivre réellement l'évolution de son traitement. Cependant ClinCheck est une arme à double tranchant dont le praticien doit se méfier (voir précédemment). [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138]

3. 3. 3. 5. 2. Pour le patient.

Discrétion et esthétique

Les *aligners* sont extrêmement discrets, d'ailleurs ils ne sont pas visibles lors d'une discussion. Cet avantage constitue la plus grande force et qualité de la technique ! Les *aligners* Invisalign® ont la propriété de rendre les dents légèrement plus brillantes, ce qui est perçu par les patients comme une qualité.

De plus, grâce à l'utilisation des pontiques, les sites d'extractions sont particulièrement discrets et ne créent pas de zones vides dans l'arcade. Les pontiques sont également avantageux pour le patient en cas d'agénésie d'incisive latérale maxillaire ou de traitement orthodontique pré-prothétique. En effet, grâce à ceux-ci, le traitement orthodontique par *aligners* permet dès le début de traitement d'améliorer l'esthétique. Bien sur, ces avantages ne sont valables que lorsque les *aligners* sont portés. Toujours concernant l'esthétique, la rétraction incisivo-canine se faisant souvent en masse, cela permet d'éviter la création de diastèmes antérieurs inesthétiques.

Avantages d'un appareil amovible

Les *aligners* étant amovibles, cela constitue un grand avantage pour le patient puisqu'il peut les retirer pour boire et manger. Il n'y a donc aucun aliment proscrit durant le traitement, contrairement aux dispositifs multi-attaches. De plus, les

habitudes d'hygiène bucco-dentaire ne sont pas modifiées. Il y a un meilleur accès à l'hygiène, contrairement à la technique multi-attache (où le fil dentaire est impossible à passer). Le fait que les *aligners* soient amovibles présente un autre avantage : ils ne subissent pas les forces masticatoires, ce qui réduit d'autant les risques de casse et donc les rendez-vous en urgence chez l'orthodontiste sont rares. Si la technique linguale peut soutenir la comparaison en terme d'esthétique, elle ne le peut pas en terme de risque de casse d'appareillage.

Confort du port : Irritations et douleurs moindres

Le troisième argument d'Align TechnologyInc© est que les *aligners* sont confortables, ils ne provoquent pas ou peu d'irritation ou de blessures. Il faut en effet reconnaître que les *aligners* sont beaucoup moins irritants pour les muqueuses :

- labio-jugales par rapport aux multi-attaches vestibulaires,
- linguales par rapports à la technique linguale particulièrement irritante pour la langue.

Par ailleurs, les douleurs liées aux déplacements dentaires sont assez bien supportées par les patients. En effet, il semblerait que le déplacement dentaire soit moins douloureux qu'en techniques multi-attaches. En technique Invisalign®, chaque *aligner* ne déplace qu'une portion de l'arcade et induit un déplacement maximal de 0,25 à 0,33 mm par dent, ce qui réduit les risques de douleur ; tandis qu'en techniques multi-attaches toutes les dents sont mobilisées en même temps. Si la majorité des patients affirme ressentir une "pression" le jour du changement des *aligners*, peu d'entre eux décrivent une sensation de réelle douleur.

Visualisation du plan de traitement

Align TechnologyInc© rapporte comme quatrième avantage la possibilité pour le patient de voir son propre plan de traitement virtuel avant de commencer. Le patient voit le résultat attendu à la fin du traitement. Il est logique qu'Align TechnologyInc© mette en avant cette possibilité pour le patient de visualiser son traitement (cette visualisation étant particulièrement convaincante et donc "vendeuse"). Cependant le résultat clinique peut être différent. Bien que sur chaque ClinCheck apparaisse la phrase "gencive et mouvements dentaires simulés et que le patient signe avant le

traitement un consentement éclairé comportant la mention “pas d’assurance ni de garantie”, le patient se laisse très facilement séduire par la magie du traitement virtuel et oublie totalement la notion de simulation. C’est pour cette raison que le praticien devra toujours attirer la vigilance du patient sur l’aspect virtuel du ClinCheck. Ceci pour se prémunir du risque de doléances, voire de plaintes parce que le résultat final ne correspond pas exactement à ce qu’il a vu à l’écran. Ainsi, ce qui constitue un avantage pour le patient, peut devenir un inconvénient pour le praticien qui n’y prend garde [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138].

3. 3. 3. 6. Inconvénients pour le praticien et le patient.

3. 3. 3. 6. 1. Pour le patient.

Modification des habitudes alimentaires

Même s’il est possible de manger tout les aliments lorsque les *aligners* ne sont pas portés, un traitement par technique Invisalign® entraîne une modification les habitudes alimentaires. En effet, le rythme alimentaire peut être perturbé puisqu’il est impératif de retirer les *aligners* pour boire ou pour manger. Ainsi, les en-cas et les grignotages deviennent rapidement problématiques. Cependant, le nouveau régime alimentaire ne peut qu’être plus équilibré. Si cette contrainte est réelle pour les aliments, les patients pourront être tentés de boire avec leurs *aligners*. La seule boisson tolérée est l’eau car avec les autres boissons il y a les risques de coloration des *aligners*. De plus avec les boissons acides ou sucrées, les *aligners* se transforment en véritable réservoir, si bien que les bords libres des incisives maxillaires baignent en permanence. Des cas de déminéralisations sévères de ces zones ont été rapportés.

Troubles de la phonation

Ces gênes phonatoires n’excèdent généralement pas les tous premiers jours de traitement. Il est également possible que les troubles de la phonation se ne manifestent que pendant les périodes où les *aligners* ne sont pas en bouche. Ces cas de figures étant rares, ils sont d’autant plus difficiles à accepter par le patient, pour qui le traitement devient une contrainte.

Irritations linguale et gingivale par les contours des aligners

Des irritations par le rebord des aligners peuvent exister ; elles se situent particulièrement au niveau de la langue par l'aligner mandibulaire et au niveau de la papille retro-incisive par l'aligner maxillaire. La finition des bords étant maintenant passée de manuelle à automatisée, ces risques sont faibles mais existants. Si nécessaire les bords pourront être polis manuellement par l'orthodontiste.

Le coût

Le coût de la technique constitue un frein majeur pour bon nombre de patients potentiels. Les honoraires demandés sont bien entendu variables d'un cabinet à l'autre et sont tributaires du type de traitement (traitement partiel de canine à canine / traitement complet, traitement d'une seule arcade / traitement des deux arcades) mais aussi du nombre d'aligners nécessaires à la correction de la malocclusion. Ces honoraires peuvent varier d'un minimum de 2500 € à un maximum de 6000 €, le patient devant souvent verser dès le début une somme importante correspondant à la facture éditée par Align TechnologyInc (de 1300 à 2100 €) [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138].

3. 3. 3. 6. 2. Pour le praticien.

Adaptations de l'infrastructure du cabinet [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138].

Le matériel nécessaire semble être au dessus de l'équipement moyen d'un cabinet d'orthodontie. Une mise à niveau préalable de l'infrastructure peut donc être nécessaire. Elle concernera l'équipement informatique, les matériaux à empreintes, les pièces de stockage du cabinet, mais aussi le mode de gestion financière.

- Équipement informatique moderne indispensable

Invisalign® est une technique moderne nécessitant un parc informatique récent. Si la configuration minimale semble assez simple, il est nécessaire d'avoir une mémoire vive importante pour que l'animation et la manipulation des modèles se déroulent de manière fluide. De plus une liaison Internet est indispensable. Ainsi, vu l'équipement informatique de base indispensable, la technique Invisalign® pourra décourager les

praticiens qui ne sont pas encore informatisés et qui ne souhaitent pas l'être. De plus, actuellement, ClinCheck ne fonctionne que sur PC.

- Matériaux à empreintes

Les matériaux à empreintes indispensables à la mise en œuvre de la technique Invisalign® ne sont habituellement pas présents dans un cabinet d'orthodontie. En effet ces matériaux sont habituellement destinés à des réalisations prothétiques. Les empreintes pour débiter la technique Invisalign imposent à l'orthodontiste :

- un investissement financier pour l'achat de matériel (malaxeur Pentamix®) et de matériaux à empreintes.

- un stockage en réfrigérateur indispensable des matériaux à empreintes.
- la technique de prise d'empreinte nécessite un temps d'adaptation, l'orthodontiste exclusif n'ayant pas fréquemment recours à ces matériaux.

- Stockage des *aligners*

L'un des objectifs de la numérisation des arcades est de solutionner les problèmes de stockage et d'encombrement des modèles en plâtre. La technique Invisalign ne palie pas à ce problème. En effet, avant la prise d'empreinte en PVS, il est souvent utile de réaliser des empreintes à l'alginate, coulées en plâtre, qui vont servir de moulage d'étude. Ces moulages servent parfois de modèles pour la réalisation de l'empreinte "au lourd", au lieu de la faire en bouche. Ce modèle devra ensuite être stocké. De plus, pour chaque patient, la totalité des *aligners* est envoyée au praticien dès le début de traitement. Pour les traitements d'environ 50 *aligners*, quatre boîtes peuvent être nécessaires.

- Gestion d'ordre financier

Dès le début du traitement, Align Technology Inc© facture au praticien la totalité de celui-ci. Le montant de la facture s'échelonne entre 1300 € (traitement de canine à canine d'une arcade) et 2100 € (traitement complet des deux arcades), ce qui n'est pas négligeable. Le praticien demande souvent au patient de régler cette somme dès la commande des *aligners*, pour limiter les impayés. Cette attitude peut être jugée assez "agressive" par le patient, qui est peu habitué à devoir verser de telles sommes avant que le traitement ne débute. Le praticien rencontre d'autres difficultés de gestion lorsque le patient a moins de 16 ans : la prise en charge partielle du

traitement par la sécurité sociale est calculée par nombre de semestres effectués. Or, la durée de traitement par technique Invisalign® a tendance à être inférieure à celle d'un traitement par multi-attaches. Se pose alors le problème suivant : le traitement par *aligners* est plus cher qu'un traitement classique tout en étant moins bien pris en charge, car plus court.

Modification de l'arsenal et des "habitudes" thérapeutiques [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138].

- Sélection du cas

La sélection d'un cas Invisalign® est une phase essentielle nécessitant une connaissance parfaite des possibilités et faiblesses de la technique. En effet l'ensemble des patients ne peut en bénéficier car les *aligners* ne peuvent pas réaliser tous les types de déplacements dentaires. La sélection du cas demande une certaine prudence pour les traitements initiaux. De plus, il faudra savoir réorienter le patient vers une autre technique quand celui-ci consultait initialement pour bénéficier d'un traitement Invisalign®, mais dont la malocclusion constitue une contre-indication.

- Adaptation à un nouveau logiciel et aux modèles virtuels

Si l'objectif de tout logiciel de traitement virtuel des arcades est de remplacer les habituels modèles en plâtre, le praticien ressent un certain inconfort à manipuler ces modèles virtuels sur écran et non plus en main. Toute une génération d'orthodontistes a eu l'œil formé pour étudier des modèles en plâtre. Pour ces derniers l'adaptation à la manipulation et à la visualisation des arcades virtuelles sera difficile.

Même si ClinCheck se veut convivial et intuitif, son utilisation nécessite une certaine phase d'adaptation et bien entendu la lecture du guide de l'utilisateur. De plus, il est actuellement impossible de relier ClinCheck avec une visualisation des structures osseuses et des tissus mous. Le praticien n'a donc pas d'indication précise quant à la position finale des dents par rapport aux bases osseuses ou aux lèvres. Et enfin, il n'y a pas de passerelles informatiques entre le logiciel ClinCheck et les logiciels de gestion de patientèle. Celles-ci permettraient pourtant au praticien de visualiser en utilisant son logiciel de gestion de cabinet, les images de synthèse du

ClinCheck. Des passerelles ont pourtant été créées entre les logiciels de gestion et la plupart des logiciels d'imagerie radiologique, simplifiant grandement les manipulations informatiques quotidiennes.

- Difficulté de changement de plan de traitement

Contrairement aux autres techniques orthodontiques fixes ou amovibles, le plan de traitement ne peut pas être modifié lorsque la série d'*aligner* est en cours. Si les objectifs de traitement changent, il est impératif de réaliser de nouvelles empreintes, de constituer un nouveau dossier et de commander une nouvelle série d'*aligners*. La durée et le coût du traitement se trouvent alors augmentés.

- Les R.I.P ou stripping

En technique Invisalign®, assez peu de cas sont traités sans R.I.P. Cette dernière est en effet souvent préférée aux extractions car les *aligners* réalisent difficilement les déplacements de grande amplitude. Si les R.I.P. sont assez répandues aux U.S.A., il n'en est pas de même en France. En effet de nombreux praticiens sont assez réticents pour effectuer cet acte, or il semble difficile de vouloir utiliser Invisalign® tout en refusant les R.I.P. Il semble donc intéressant de s'interroger sur leurs effets néfastes, réels ou supposés. Bien entendu la réalisation des R.I.P. et le contrôle de la quantité de réduction ne sont pas aisés. Même si par définition cet acte est iatrogène, il semble être effectué de manière de plus en plus raisonnée, permettant d'obtenir un état de surface final proche de l'aspect naturel, grâce à un polissage soigneux et à l'application de fluor à forte concentration, immédiatement après réalisation.

- Contrôle de la réalisation des déplacements dentaires

En technique multi-attache, l'orthodontiste est habitué au contrôle du déplacement dentaire escompté. Le praticien est capable d'adapter la thérapeutique pendant le traitement pour arriver aux objectifs. En technique Invisalign®, les premiers cas sont assez déstabilisants : les possibilités d'adaptation de l'outil thérapeutique sont assez restreintes et le contrôle du bon déroulement du traitement se fait en confrontant l'observation de l'arcade à une image virtuelle.

- Gestion des déplacements dentaires non réalisés

Les difficultés thérapeutiques non attendues sont particulièrement mal vécues par l'orthodontiste, qui a une sensation de perte du contrôle de la thérapeutique. De plus, le patient peut se mettre à douter de l'efficacité de son traitement et donc du sérieux de son praticien. Avec l'expérience clinique, il est possible dès le début du traitement de prévoir les déplacements dentaires à risques, et donc de les anticiper. En conséquent, le praticien peut soit adapter la durée de port, soit prévenir le patient qu'il faudra avoir recours à des auxiliaires. Cette situation est bien vécue par le praticien et par le patient.

- Gestion des cas chirurgicaux : l'impératif multi-attache

Si le traitement par technique Invisalign® des cas ortho-chirurgicaux n'est pas contre-indiqué, les patients devront être bien informés que seule la première étape d'alignement est réalisable par *aligners*. La pose d'un dispositif multi-attache reste encore actuellement indispensable pour permettre l'acte chirurgical et la finition orthodontique lui faisant suite. La technique Invisalign® ne permet donc pas de s'affranchir du multi-attache, elle en réduit seulement la durée. Cependant, on peut remarquer que le multi-attache lingual a quant à lui réussi à supprimer l'étape du multi-attache vestibulaire pré-chirurgical, la majorité des chirurgiens maxillo-faciaux acceptant à présent d'opérer avec un multi-attache lingual.

Inconvénients liés aux *aligners* [19, 70, 72, 85, 86, 88, 134,138].

- Contrôle de la durée quotidienne de port

Le contrôle de la durée de port est capital, mais il est malheureusement uniquement basé sur deux points :

- l'exécution du déplacement dentaire escompté.
- la bonne foi et le sérieux du patient !

Ainsi en cas de problème de déplacement non réalisé, il est parfois difficile de savoir si le patient porte suffisamment ses *aligners*. S'il s'agit effectivement d'un problème de port, le patient fautif peut affirmer le porter suffisamment par crainte d'un supplément financier. Si l'inadaptation des *aligners* est telle qu'il est nécessaire d'en réaliser des nouveaux, cette opération sera facturée au praticien (et donc au patient) 300 € si la cause de l'inadaptation des *aligners* est la faible coopération du patient. Chaque praticien saura quelle attitude adopter : doit-il déclarer ou non le manque de coopération du patient ? Outre l'inconvénient financier, la gestion de ce problème est

assez longue : tout comme pour le début de traitement, il faut compter entre quatre et six semaines entre l'envoi des documents et la réception des *aligners*.

- Défauts de thermoformage, de conditionnement

Bien que rares, des problèmes de thermoformage des *aligners* peuvent survenir. Un *aligner* de la série peut être mal thermoformé sans explication particulière. On peut également, de manière rarissime, trouver dans l'*aligner*, au niveau du sommet d'une cuspide, un morceau de résine du modèle stéréolithographié ayant servi de support au thermoformage. Autre évènement exceptionnel, mais pourtant possible : des *aligners* peuvent être inversés dans les blisters. Par exemple : l'*aligner* 13 maxillaire est dans la boîte 18 et inversement. Si la chaîne de production des *aligners* est automatisée, il semblerait que le conditionnement soit encore manuel, ce qui explique les erreurs possibles. La gestion de ces erreurs se fait au cas par cas, en contactant le service clients. Cliniquement, ces problèmes de thermoformage et de conditionnement peuvent causer des difficultés d'insertions ou des déplacements dentaires parasites. Le praticien devra donc toujours rester vigilant et contrôler le contenu des blisters avant de les remettre au patient.

- Casse et perte

Il s'agit de la seule véritable urgence existant en technique Invisalign®. Le patient peut casser ou perdre ses *aligners* tout comme en prothèse amovible. Le volume des boîtes de rangement proposées par Align Technology Inc© permet au patient de les avoir sur lui en permanence, ce qui limite les cas de perte qui surviennent toujours au moment des repas.

Les cas de casse sont rares, ils surviennent dans les situations suivantes :

- En début de traitement, lorsque des malpositions sévères créent d'importantes contraintes lors des manœuvres d'insertion/désinsertion.
- Lorsque les *aligners* sont portés sur une très longue période. Cela peut être le cas lorsque des dispositifs auxiliaires sont ajoutés lors de déplacements dentaires non réalisés par les *aligners*.
- En cas de réduction de la hauteur des *aligners*, pour pouvoir coller sur la dent des boutons dans le cas de traitement par auxiliaires (bouton d'égression par exemple).

En fonction du moment où le problème intervient, deux attitudes sont envisageables en cas de perte ou de casse d'un *aligner* :

- passer directement à l'*aligner* suivant ;
- re-commander l'*aligner*. Ce second cas constitue le véritable inconvénient de la technique : les *aligners* supplémentaires sont assez onéreux ! (100 € par *aligner*).

La facturation est systématique en cas de perte, par contre en cas de casse, les *aligners* sont garantis à condition d'envoyer l'*aligner* cassé. Le patient doit être parfaitement informé de la conduite à tenir en cas de perte d'un *aligner* : le port d'*aligner* ne doit jamais cesser, sous peine de récurrence. Ainsi, si un nouvel *aligner* doit être commandé, le patient devra porter l'*aligner* précédent en attendant la livraison (en 3 jours ouvrables). L'orthodontiste utilisera le formulaire « commande gouttières contention/remplacement ».

- Perturbations de l'occlusion liées à l'épaisseur des *aligners*

Le risque d'ouverture antérieure de l'occlusion liée au port de deux *aligners* n'est que très transitoire : ce n'est que pendant les tous premiers jours qu'une béance antérieure se crée, par contacts postérieurs prématurés. Ensuite, les forces occlusales ingressent les molaires si bien que la dimension verticale d'occlusion est rétablie. Naturellement, on observe alors une inoclusion postérieure lorsque les *aligners* ne sont pas portés, qui est elle aussi transitoire et disparaîtra aisément en fin de traitement

Conclusion : les dérives

Deux sociétés (Inline Orthodontics© et TPA, *Treatment Planning Advice*) composées d'orthodontistes consultants, se proposent, contre rémunération, d'étudier les cas, d'établir le diagnostic et le plan de traitement. Ces cas sont soumis par des confrères moins aguerris à la technique Invisalign®. TPA a été fondée par Align Technology Inc© pour aider les praticiens et permettre au plus grand nombre, y compris ceux n'ayant aucune notion d'orthodontie, de réaliser des traitements par *aligners*. Ces deux sociétés proposent donc de la sous-traitance, ce qui revient, en d'autres termes, à un partage d'honoraire. Peut être qu'en Europe les instances de contrôles de la profession sauront empêcher le développement de ce système ?

Inline Orthodontics© a été créée alors qu'Invisalign® était encore réservé

exclusivement aux orthodontistes qualifiés. Son but était de contourner cette exclusivité en permettant à l'omnipraticien d'effectuer un traitement par *aligners*, dont le diagnostic et les objectifs thérapeutiques avaient été établis par un orthodontiste.

Suite à un procès perdu, Align Technology Inc© a été contraint de diffuser le système Invisalign® également auprès des omnipraticiens. Mais très vite, on constate que les cas soumis et les objectifs de traitement proposés étaient peu réalistes : il s'est alors avéré nécessaire de mettre en place un système d'aide aux praticiens souhaitant utiliser la technique Invisalign®. Align Technology Inc© décida de mettre en place une société composée d'orthodontistes, la société TPA. Celle-ci a donc été créée pour éviter la multiplication d'échecs thérapeutiques par *aligners*, liés à des plans de traitement inadaptés.

Le second risque de dérive est lié au fait qu'Align Technology Inc© possède l'exclusivité des traitements par *aligners* issus d'un set-up virtuels. Cette situation de monopole rend le praticien dépendant d'Align Technology Inc© et de sa politique commerciale. L'arrivée de sociétés concurrentes permettrait de supprimer cette dépendance et favoriserait à coup sûr un développement plus rapide de la technique.

3. 3. 4. Bibliocast®.

Bibliocast® est un logiciel français né en 2003, qui apporte aux orthodontistes une solution à la gestion des modèles d'étude en plâtre.

Ce logiciel présente deux barres d'outils permettant un accès aux différentes fonctions.

mesure de la flèche représentant la longueur d'arcade s'affiche automatiquement et le plan d'occlusion apparaît par transparence en grisé.

- Un bouton pour la mesure du torque : toujours en vue frontale, on place un cône sur la face vestibulaire de la dent : la mesure du torque s'affiche alors par rapport à la normale au plan d'occlusion prédéfini.

- Mesure du périmètre d'arcade sur le plan d'occlusion prédéfini : on sélectionne plusieurs points sur le pourtour de l'arcade, la mesure s'affiche en bas à droite de la fenêtre du modèle. [9]

3. 3. 4. 1. 2. Recouvrement et surplomb.

En cliquant dans le menu « COUPE », un plan de coupe apparaît sous la forme d'une ligne qui passe par le centre vertical du modèle. Puis le modèle est placé en vue latérale en cliquant sur le bouton destiné à cet effet dans la barre d'outils. On peut ensuite déplacer le plan de coupe de manière à le placer à l'endroit exact où l'on veut mesurer le recouvrement ou le surplomb.

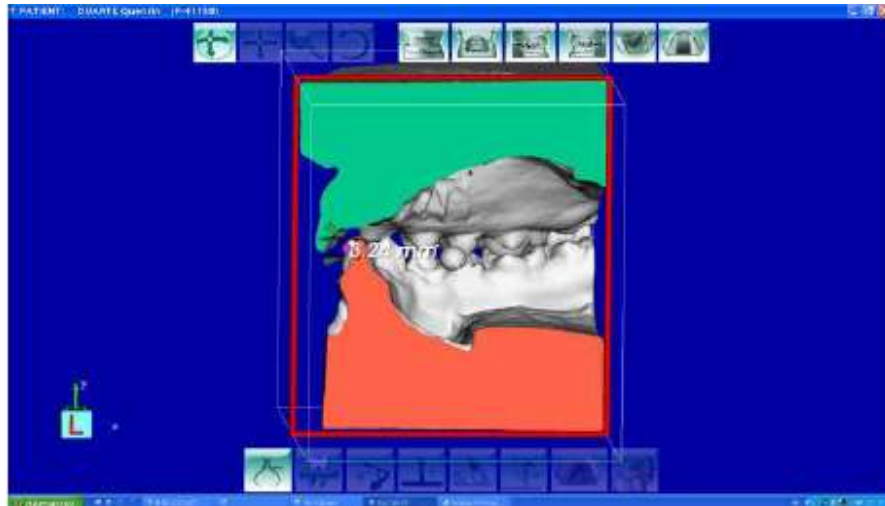
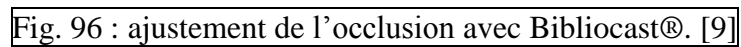


Fig. 94 : mesure du surplomb et du recouvrement avec Bibliocast®. [9]

La mesure du recouvrement (*overbite*), qui est une mesure verticale, s'obtient en plaçant un premier cône sur le bord libre d'une incisive mandibulaire, puis un deuxième sur la face vestibulaire de cette même dent à l'endroit qui correspond au recouvrement visible sur la coupe de profil. La valeur de la mesure s'affiche en mm. La mesure du surplomb (*overjet*), qui est une mesure horizontale, s'obtient en plaçant un premier cône sur le bord libre d'une incisive centrale supérieure et un



- ### **3. 4. Applications cliniques.**

3.4.1.1. Introduction.

La réalisation de set-up informatiques à partir des modèles numérisés est basée sur une approche en Straith Wire : les dents sont reliées à l'arc par l'intermédiaire d'un appareillage fixe et leurs mouvements sont contraints par les propriétés mécaniques de ces appareillages [54, 55, 56, 71, 103].

- une barre d'outils
- les modèles numérisés
- et une boîte de dialogue

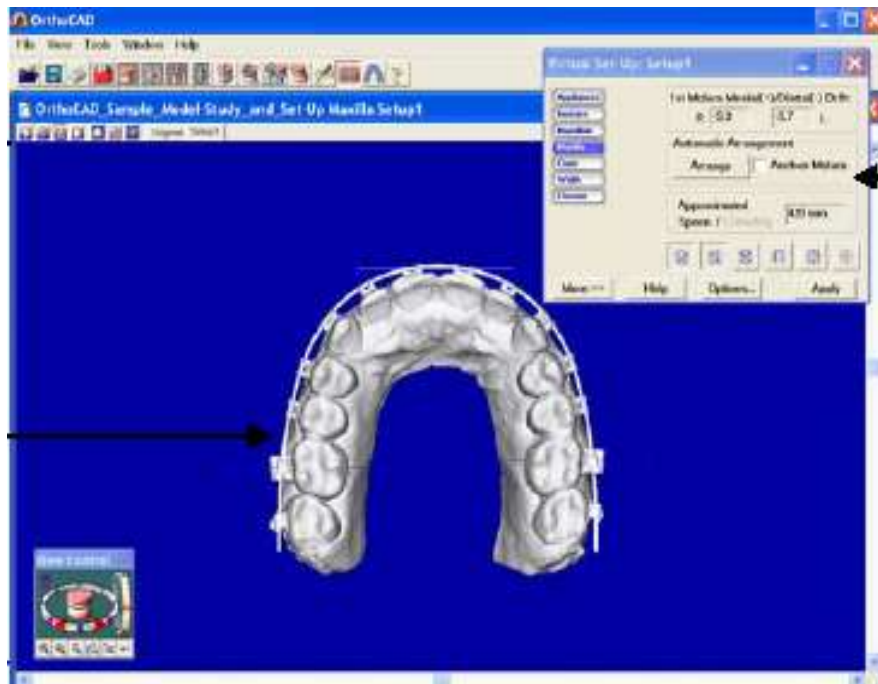


Fig. 97 : page d'accueil du Set up sur OrthoCad®. [103]

3. 4. 1. 2. Réalisation du set-up : sept étapes.

3. 4. 1. 2. 1. 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 étudié. Ensuite, il faut choisir le type de brackets 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®

3. 4. 1. 2. 2. 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. Le logiciel aide au réglage en proposant des méthodes pour ajuster la relation inter-incisive.

- Dans le cas d'un traitement sans extraction :

Ici on peut modifier la position des molaires en choisissant de les mésialiser ou de les distaler, ou encore de ne pas les bouger (encrage maximum).

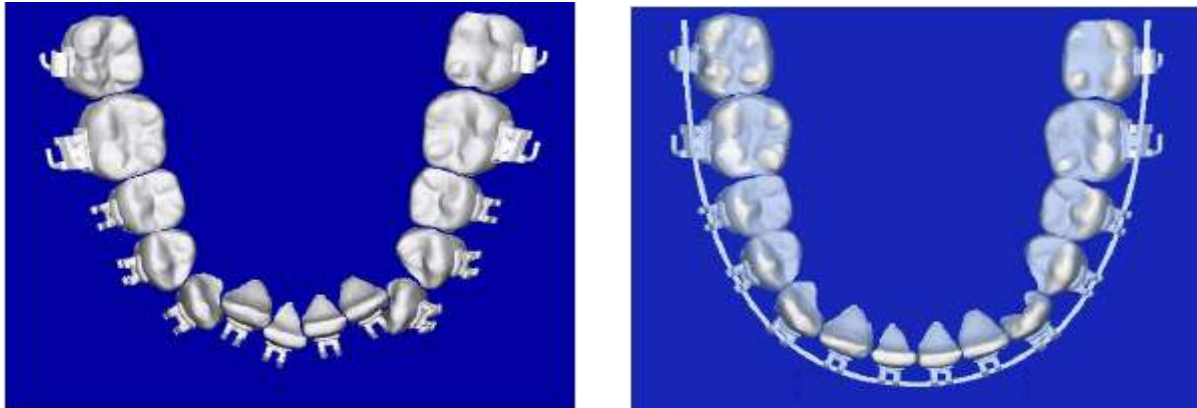


Fig. 99 : simulation d'un traitement sans extraction à la mandibule. [103]

- 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.

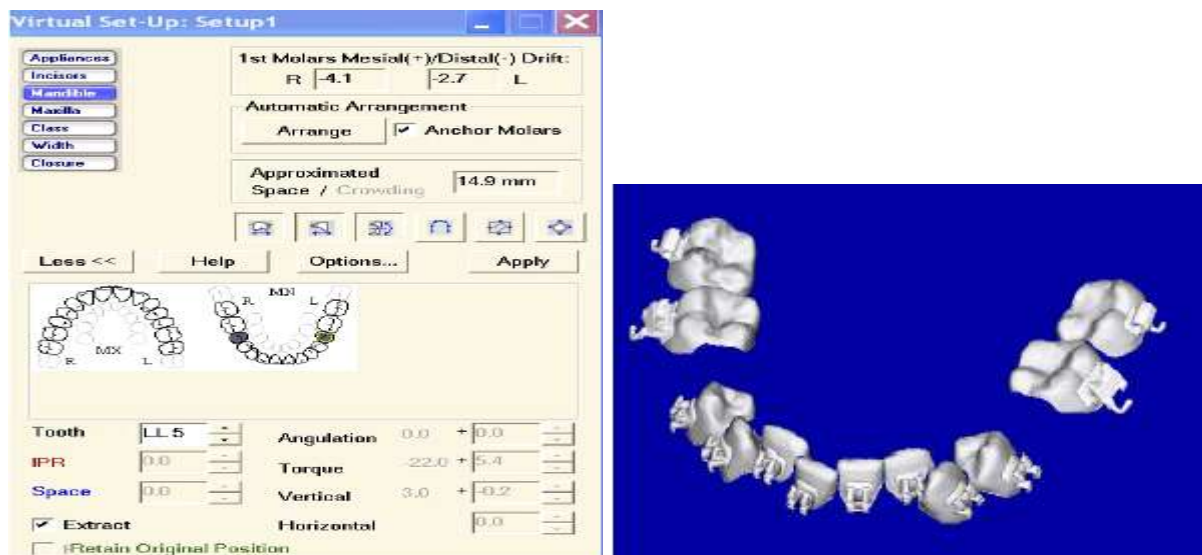


Fig. 100 : simulation d'un traitement avec extraction à la mandibule. [10]

3. 4. 1. 2. 4. Etape maxillaire.

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

3. 4. 1. 2. 5. Finition de la classe molaire.

À 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.

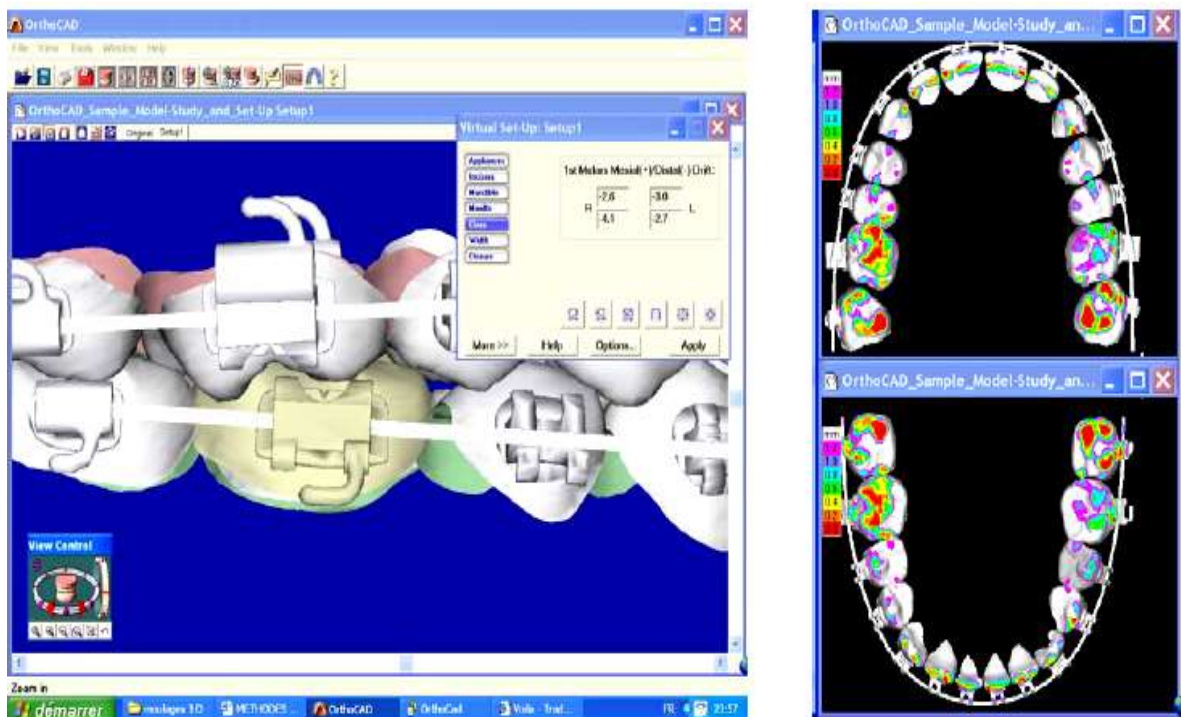


Fig. 101 : les rapports dentaires à la fin du traitement. [103]

3. 4. 1. 2. 6. La largeur d'arcade.

À 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 canines, inter molaires et de l'arcade dans son ensemble. Il reste tout à fait possible de modifier ces valeurs en agissant dans la boîte de dialogue.

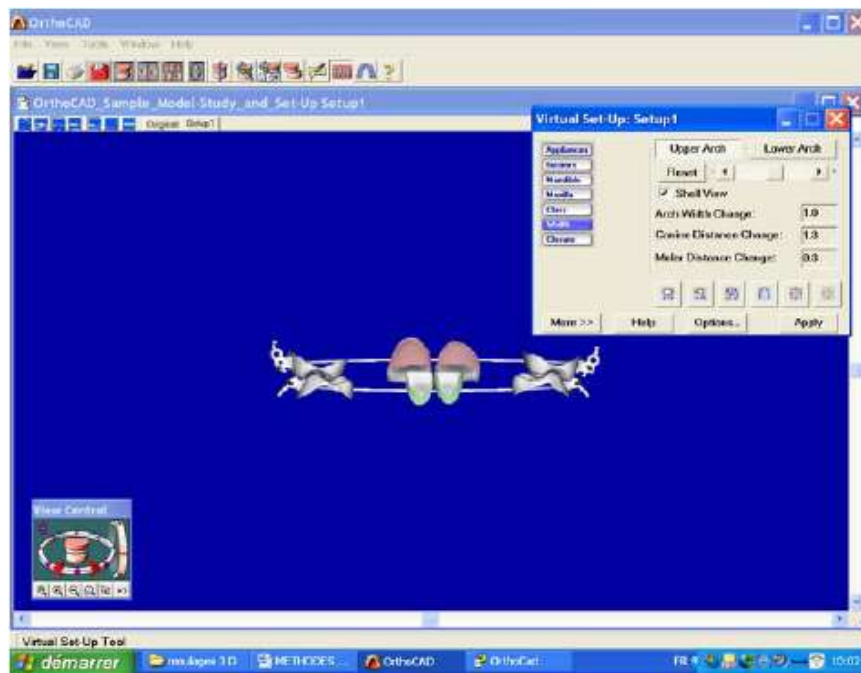


Fig. 102 : visualisation des impacts du set up sur la largeur d'arcade. [103]

3. 4. 1. 2. 7. La fermeture des diastèmes/espaces.



Fig. 103 : fermeture des diastèmes et occlusogramme. [103]

Il s'agit de l'ultime étape, où il est question de terminer l'intercuspitation. Cette étape est exécutée automatiquement grâce au logiciel, auquel il faut préciser de manière chiffrée la limite de déplacement des brackets sur les dents (*maximal bracket*

mouvement). Un occlusogramme s'affiche pour nous permettre d'apprécier les contacts occlusaux intermaxillaires (fig.103) [54, 55, 56, 71, 103].

3. 4. 1. 3. Les autres fonctions possibles.

3. 4. 1. 3. 1. Précision de la position des brackets.

Une fois l'appareillage en place, il est possible d'affiner le positionnement d'un bracket. Nous avons ainsi la possibilité de corriger la position de chaque bracket selon des critères que le logiciel n'a pas : lorsqu'il y a une angulation couronne racine [54, 55, 56, 71, 103].

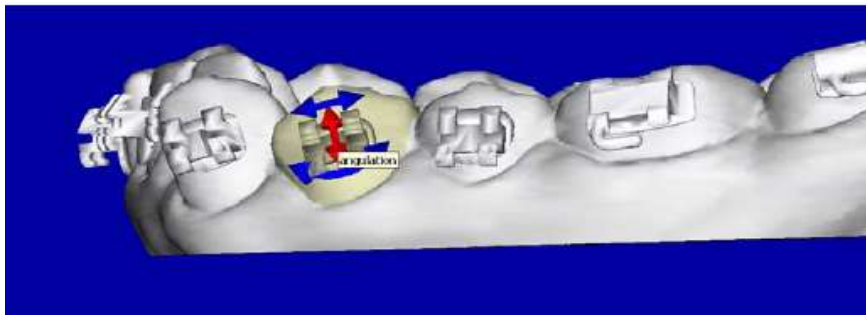


Fig. 104 : correction de la position des brackets. [103]

3. 4. 1. 3. 2. Individualisation de la forme d'arcade.



Fig. 105 : individualisation de la forme d'arcade. [103]

Il est possible de modifier et d'individualiser la forme des arcades dentaire. Grâce à la fonction « *Wire Shape Contrôle* », on peut faire des modifications à volonté (fig.105).

3. 4. 1. 3. 3. Prise en compte de la troisième molaire.

Si les troisièmes molaires sont sur arcade, il est tout à fait possible de les intégrer dans le set up manuellement. Le logiciel n'ignore pas ces dernières.

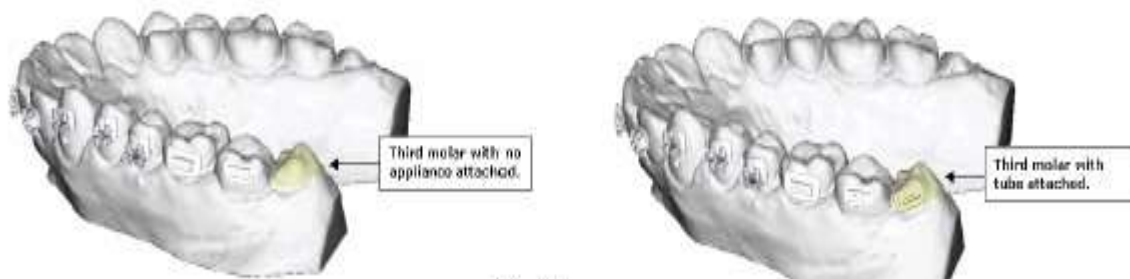


Fig. 106 : prise en charge de la troisième. [103]

3. 4. 1. 3. 4. Alignement des brackets.

Il est possible d'ajuster le plan d'alignement des brackets afin d'éviter toute interférence entre les appareillages maxillaires et mandibulaires.

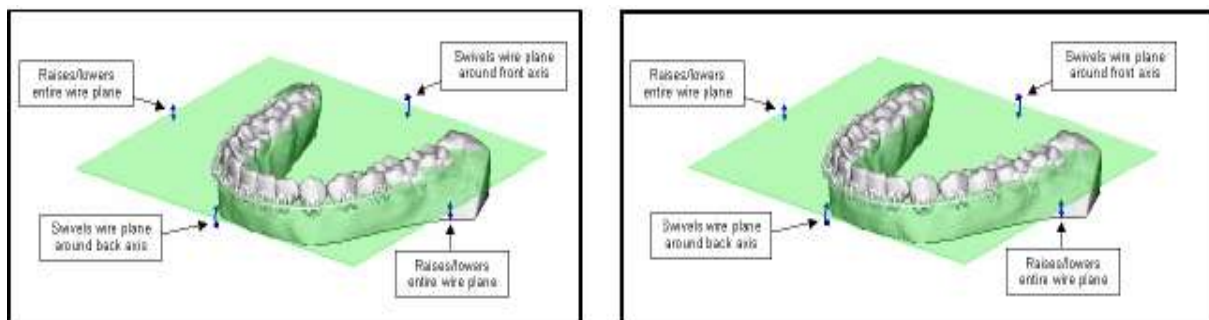


Fig. 107 : plan d'alignement des brackets. [103]

3. 4. 2. Placement guidé des brackets.

3. 4. 2. 1. Introduction.

Suite à la réalisation du set-up virtuel, le système OrthoCad® nous permet un collage des attaches de manière très précise grâce à l'assistance informatique. Cette technique utilise un stylet muni d'une caméra miniature et un jeu de pédales : les images en bouche sont affichées en temps réel sur un écran et lorsqu'il y a concordance entre l'image clinique et la position de l'attache sur le set-up, un signal est émis pour lancer la photopolymérisation.

Le matériel permettant la mise en œuvre de cette technique de collage peut se présenter directement sur l'unit du fauteuil ou sous la forme d'un quart [71, 103, 111].

3. 4. 2. 2. Description de la mise en œuvre.

Après avoir sélectionné le patient, il faut procéder au calibrage du stylet. Cette manœuvre, nécessaire avant chaque nouveau collage, est rapide et simple. Sur l'écran vidéo s'affichent simultanément la vue clinique de la bouche, la dent où se fait le collage et les modèles virtuels.

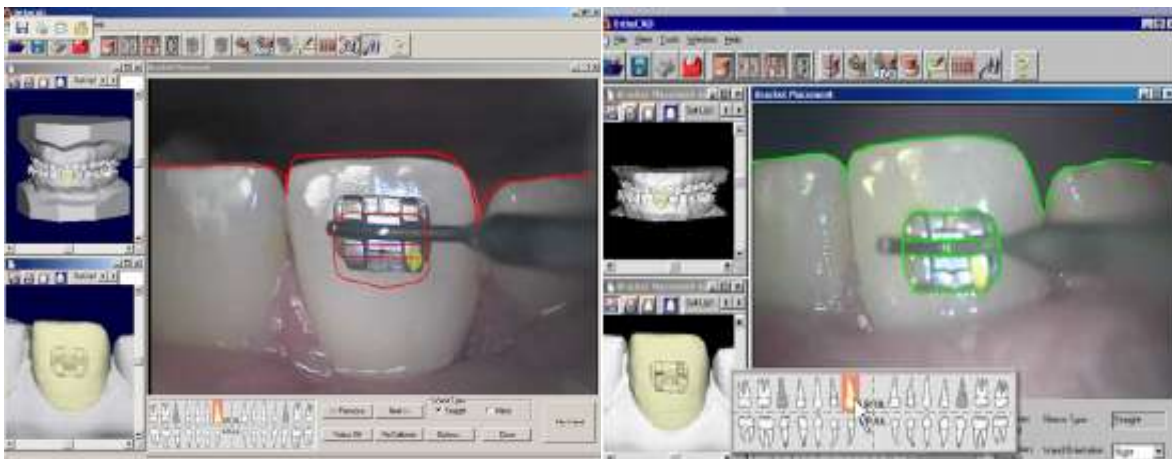


Fig. 108 : manœuvre de collage avec le système OrthoCad®. [103]

Dans la boîte de dialogue, le praticien sélectionne la dent où va avoir lieu le collage. Pour bien positionner l'attache, un système de guidage sur écran va permettre au praticien de faire correspondre la position du bracket sur le set-up et l'image clinique réelle.

Quand la position du stylet concorde avec les données numériques, un signal sur l'écran avertit le praticien qui peut démarrer la photopolymérisation en appuyant sur une pédale, qui active la lampe du stylet [71, 103, 111].

Il suffit d'actionner la seconde pour passer à la dent suivante.



Fig. 107 : collage avec le système OrthoCad® au cabinet. [103]

3. 4. 3. Fabrication d'arcs et de brackets sur-mesure en lingual

3. 4. 3. 1. Introduction.

La C.F.A.O. trouve son utilisation dans plusieurs domaines de l'odontologie, y compris en orthodontie où elle est à ses débuts. Dans le cadre de l'orthodontie linguale, Wiechmann (2003) a mis au point le système Incognito® qui utilise la C.F.A.O. Grâce à ce nouveau système, les attaches sont désormais conçues sur mesure. L'appareillage est devenu plus petit, plus précis et totalement anatomique. L'attache *Incognito* arrivée en France en 2004 permet d'appareiller efficacement toutes les dents y compris les dents atypiques ou en forte malposition.

3. 4. 3. 2. La fabrication des brackets et fils.

Incognito® est le système d'attaches linguales et de fils entièrement individualisés, conçus en fonction du plan de traitement défini par le praticien et adapté aux particularités anatomiques du patient. Pour aboutir à ce résultat, des procédés de haute technologie sont employés :

- digitalisation du set-up en trois dimensions par scan optique ;
- intégration des systèmes de fabrication et de positionnement en un même processus ;

-dessin et positionnement des attaches assistés par ordinateur. Ces données sont ensuite utilisées pour la réalisation des verrous Incognito®. Cette technique a permis une simplification des transferts nécessaires à la réalisation des étapes de laboratoire pour la fabrication des attaches.

-fabrication des arcs assistée par ordinateur, en fonction du positionnement des attaches, grâce à un robot.

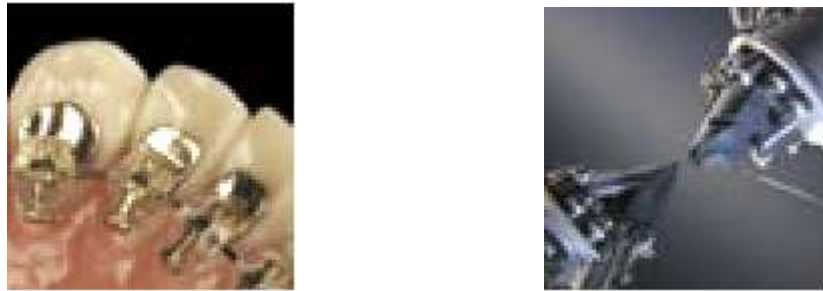


Fig. 110 : fabrication d'arcs et de brackets sur mesure. [68]

3. 4. 3. 3. Conclusion.

Les attaches Incognito® sont fonctionnelles et plates, ce qui permet une adéquation avec l'anatomie buccale du patient et donc une diminution spectaculaire des irritations, des problèmes d'élocution et de mastication. Le système Incognito permet également d'optimiser l'esthétique pendant le traitement.

Toutes les malocclusions qui peuvent être traitées en technique vestibulaire peuvent l'être aussi efficacement en technique linguale aujourd'hui.

Il existe un autre système permettant la fabrication d'attaches linguales : Orapix est un système de positionnement virtuel d'attaches linguales, entièrement individualisé, et de fabrication de jigs de transferts en utilisant la C.F.A.O. [51, 68, 84, 92, 135, 136].

3. 4. 4. Fabrication d'arcs personnalisés en vestibulaire.

Comme en technique linguale, il existe des logiciels 3D permettant la fabrication d'arcs sur mesure en vestibulaire. Le logiciel SureSmile® permet cette manœuvre

pour la technique vestibulaire. Lors de la réalisation du set-up informatique, le praticien fait les choix cliniques pour son traitement. Ensuite, ces données cliniques sont transmises via l'Internet à la société Oramétrie qui va fabriquer des arcs conformes aux données, grâce à un robot [82, 93, 99].

3. 4. 5. Collage indirect.

Les systèmes décrits précédemment permettent entre autre la réalisation de gouttières de collage. Après la réalisation du set-up, le praticien demande par Internet les gouttières. Celles-ci vont permettre un positionnement des attaches conforme aux données cliniques choisies lors du set-up. La technique de fabrication des gouttières est la même que celle employées en bouche, la seule différence est qu'elle est utilisée au laboratoire sur des modèles en plâtre.

Les gouttières de collages sont particulièrement indispensables en technique linguale comme dans système Incognito [68, 136]. Avec Incognito, la technique de collage se déroule ainsi :

- réception des gouttières en silicone ;



Fig. 111 : gouttière de collage. [68]

- vérification et dégraissage de la gouttière à l'acétone ;
- sablage intra-buccal (à l'aide d'une sableuse : alumine 50 micromètre, 3-5 bars) pendant 3 à 4 secondes par dent et à distance de la gencive pour éviter de faire saigner. Pour ce nettoyage, le patient est protégé ;



Fig. 112 : sablage intrabuccal. [68]

- les dents sont bien isolées à l'aide d'un *Dry Field* et la pose d'un *Dry Tip* dans chaque joue ;



Fig. 113 : pose du Dry Field et du Dry Tip. [68]

- les surfaces dentaires sont ensuite préparées en utilisant un gel d'acide orthophosphorique à 37 % ;



Fig. 114 : mordantage des dents. [68]

- Rinçage et séchage des dents, mise en place de cotons quand il s'agit de la mandibule ;



Fig. 115 : rinçage et séchage des dents. [68]

- mise en place du système de collage sur les talons de composite et sur les faces des dents ;



Fig. 116 : mise en place du système de collage. [68]

- insertion de la gouttière que l'on maintient fermement. Puis dépose de l'écarteur suivi de la gouttière ;



Fig. 117 : collage. [68]

- pour finir, les excès d'adhésif et les restes de silicones sont éliminés ; l'occlusion vérifiée ;



Fig. 118 : élimination des excès et vérification de l'occlusion. [68]

- le collage est terminé et l'arc peut être mis en place ;



Fig. 119 : mise en place de l'arc. [68]

D'autres logiciels proposent la réalisation de gouttières de collage pour le positionnement des attaches : c'est le cas par exemple du système SureSmile® pour la technique vestibulaire.

3. 5. Perspectives d'avenir en orthodontie.

La numérisation des moulages constitue une grande avancée dans l'aide au diagnostic et au traitement. Cependant, l'absence de la représentation des racines est regrettable. La reconstitution tridimensionnelle à partir de coupes tomographiques pourrait être la solution à ce problème, mais cette deuxième technique a aussi ses inconvénients. En effet, comme cela a été dit précédemment, cette technique présente comme limite d'une part, un manque de définition des couronnes et d'autre part, des artéfacts sont visibles lorsqu'il y a des restaurations métalliques. A cause de ce manque de précision dans la reconstitution des couronnes dentaires par rapport aux modèles 3D, cette technique ne peut pas remplacer la numérisation des arcades. De plus les listes d'attente pour les scanners constituent une autre difficulté pour s'en servir comme examen courant en orthodontie.

Pour pallier à ces problèmes, la recherche tend à intégrer les images coronaires issues des modèles virtuels aux reconstitutions tridimensionnelles issues des coupes tomographiques. Cette combinaison permettrait une visualisation précise aussi bien des couronnes que des racines.

3. 6. Discussion.

Depuis plusieurs années, la technique numérique a été introduite en orthodontie, d'abord avec la photographie, ensuite avec la radiologie et, plus récemment, avec les moulages [103]. En plus des aspects pratiques (conservation illimitée des modèles, stockage non encombrant, communication facilitée...), la numérisation des moulages constitue une aide au diagnostic non négligeable. En effet les moulages dentaires virtuels laissent la possibilité d'observer et d'étudier les arcades dentaires dans les trois sens de l'espace, avec la possibilité d'une individualisation totale des formes d'arcade pour chaque patient. Ainsi, la prise des mesures nécessaires se trouve simplifiée et plus précise. Il en est de même pour le calcul des asymétries, la réalisation de coupes et l'observation de l'occlusion.

Il est également possible de réaliser des planifications et des simulations de traitement à volonté. Les logiciels permettent la réalisation de set-up informatiques, ce qui est un gain de temps et d'énergie considérable par rapport aux modèles en

plâtre. La fiabilité des outils de mesure a été mainte fois démontrée [54, 118]. Certains logiciels, après la validation du set-up, permettent avec un matériel adapté, l'individualisation des artifices mécaniques pour chaque patient.

La numérisation des arcades dentaires présente d'autres avantages : l'avantage spécifique aux images numériques est de pouvoir envoyer par Internet la totalité du dossier numérique à des confrères, ce qui facilite les discussions à distance. De même, la visualisation informatique permet d'expliquer le plan de traitement au patient de manière illustrée, ce qui rend les échanges plus didactiques et plus conviviaux.

On ne peut que regretter pour l'instant que la numérisation se fasse hors du cabinet et impose de ce fait des manipulations d'envoi des empreintes ou des modèles. Administrativement, la Sécurité Sociale impose encore l'obligation de pouvoir présenter des modèles en plâtre pour chaque patient. On peut espérer que, dans l'avenir, les discussions en cours permettront de régler ce problème. Le coût reste encore élevé car la fabrication de modèles en plâtre à partir d'une trame numérique est onéreuse chez les principaux fournisseurs de moulages virtuels. Néanmoins la perspective de pouvoir un jour individualiser le matériel thérapeutique pour chaque patient de manière courante dans nos cabinets est très intéressante.

CONCLUSION.

Facultés virtuelles pour étudiants et praticiens, programmes interactifs de prévention ou encore Dossier Médical Personnalisé où l'on pourra facilement retrouver les maquettes numériques de sa couronne, de son bracket voire de son guide chirurgical... Au-delà de la C.F.A.O., c'est bien toute l'odontologie qui sera, dans le futur, assistée par informatique. Elle est entrée dans les cabinets dentaires et elle n'en ressortira plus.

Et d'une informatique fermée, le cabinet dentaire passera à une informatique communicante, reliée à des systèmes experts pour l'aide au diagnostic et à la prescription, l'interrogation sur des pathologies, la réception de résultats d'examens complémentaires, etc.

Mais cela ne se fera pas sans poser de problèmes, problèmes déjà rencontrés par tous dans la vie quotidienne (sauvegardes, lutte contre les virus, entretien du matériel informatique) et forcément amplifiés dans une profession médicale.

Les problèmes se posent déjà pour garantir des sauvegardes de qualité et pérennes, pour éviter les risques de contamination croisée avec des dispositifs informatiques difficilement autoclavables ou encore pour garantir la sécurité des données médicales. La qualité du service de maintenance sera aussi essentielle car, quand le système informatique sera en panne, c'est aussi tout le cabinet qui le sera. Par conséquent, il faudra être vigilant sur les sociétés de maintenance. En effet, le tout petit marché que représentent les Chirurgiens Dentistes (environ 40 000 acheteurs potentiels) génère une forte marge bénéficiaire et peut attirer des sociétés incompetentes.

Les solutions restent donc à trouver.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. 3D SYSTEMS.

Modeleur 3-D In Vision DP.

http://www.3dsystems.com./french/products/3dm/invision_dp/index.asp

2. ALLOUCHA L, AMZALAG A, BINHAS E et coll.

Communication : se donner toutes les chances de réussir.

Inf Dent 2006;**88**(13):654-684.

3. ANDERSON LH.

Integrated office technology : how technology can help improve office efficiency.

J Am Dent Assoc 2004;**135**:18-22.

4. APAP M.

Numérique et ergonomie, encore des zones d'ombre.

Inf Dent 2007;**89**(31):1825-1828.

5. ASSOCIATION DENTAIRE FRANÇAISE.

La sécurité informatique au cabinet dentaire.

http://www.adf.asso.fr/cfm/site/afficher_rubrique.cfm?rubrique=194

6. BAZZUCCHI A.

El sistema Invisalign : una innovacion en ortodoncia.

Ortod Clin 2003;**6**(1):38-42.

7. BENDEL W.

Tout savoir sur les systèmes de vidéo intra-orale – Première partie.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2000;**110**(1):91-96.

8. BEUER F, SCHWEIGER J et EDELHOFF D.

Digital dentistry : an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations.

Br Dent J 2008;**204**(9):505-511.

9. BIBLIOCAST.

Guide Bibliocast.

<http://www.Bibliocast.fr>

10. BINHAS E.

La caméra endo-buccale.

Le Fil Dentaire 2008;**32**:34-35.

11. BINHAS E, HAREL Y, RAHAL D et coll.

S'installer, déménager, réaménager son cabinet dentaire.

Paris : CdP, 2007a:11-20.

12. BINHAS E, HAREL Y, RAHAL D et coll.

S'installer, déménager, réaménager son cabinet dentaire.

Paris : CdP, 2007b:123-140.

13. BINHAS E, HAREL Y, RAHAL D et coll.

S'installer, déménager, réaménager son cabinet dentaire.

Paris : CdP, 2007c:157-164.

14. BIODENTIS.

Keramischer Zahnersatz in 48 Stunden.

<http://www.absolute.ceramics.com/de/Starseite/keramischer-Zahnersatz-in-48-h/>

15. BLANC G.

Les nouveaux outils de communication.

Le Fil Dentaire avril 2008;**32**:28-32.

16. BONUGLI A.

Introduccion a la técnica Invisalign, generalidades.

Ortod Clin 2002;**5**(4):160-167.

17. BONUGLI A.

Técnica Invisalign.

Ortod Clin 2003;**6**(2):99-110.

18. BOURGUIGNON F.

Carte Vitale 2, ce qui va changer.

Clinic 2007;**28**(2):12-15.

19. BOYD RL, MILLET R et VLASKALIC V.

The Invisalign system in adult orthodontics : mild crowding and space closure.

J Clin Orthod 2000;**34**(4):203-213.

20. BRAUN P.

Développement d'Internet chez les praticiens.

Chir Dent Fr 2005;**75**(1233):64-77.

21. CALBERSON F, HOMMEZ, G et DE MOOR R.

Fraudulent use of digital radiography : methods to detect and protect digital radiographs.

J Endod 2008;**34**(5):530-535.

22. CATTANEO P.

A vos claviers !

Clinic 2007;**28**(2):12-15.

23. CATTANEO P.

Dessine-moi un cabinet dentaire.

Le Fil Dentaire 2008;**32**:18-21.

24. CHAUMEIL B.

Patients et informatique au cabinet.
Inf Dent 2007;**89**(31):1822-1823.

25. CHAUMEIL B et BONNEVILLE JP.

Informatique odontologique : du B. A. BA à la maîtrise.
Paris : CdP, 2004a:5-47

26. CHAUMEIL B et BONNEVILLE JP.

Informatique odontologique : du B. A. BA à la maîtrise.
Paris : CdP, 2004b:48-65.

27. CHAUMEIL B et BONNEVILLE JP.

Informatique odontologique : du B. A. BA à la maîtrise.
Paris : CdP, 2004c:85-128.

28. CHAUMEIL B et BONNEVILLE JP.

Informatique odontologique : du B. A. BA à la maîtrise.
Paris : CdP, 2004d:195-200.

29. CHRISTENSEN GJ.

Is now the time to purchase an in office CAD/CAM device?
J Am Dent Assoc 2006;**137**:235-238.

30. CHRISTENSEN GJ.

Intraoral television cameras versus digital cameras.
J Am Dent Assoc 2007;**138**(8):1145-1147.

31. CHRISTENSEN GJ.

In-office CAD/CAM millings of restoration : the future?
J Am Dent Assoc 2008;**139**:83-85.

32. COMMISSION NATIONALE INFORMATIQUE ET LIBERTES.

Guide pratique pour les professionnels de santé.
http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/La_CNIL/publications/SANTE_GUIDE_PRATIQUE_VFVD.pdf

33. CYNOVAD.

Brochure WaxPro®.
<http://www.cynovad.com/fr/pdf/WaxPro.pdf>

34. DADA K, CASTELNAUD F, DAAS M et coll.

Implantologie assistée par ordinateur : le procédé NobelGuide®.
Clinic 2006;27:323-336.

35. DARCHE P.

Architecture des ordinateurs-interfaces et périphériques.
Paris : Vuibert, 2003.

36. DEGUDENT.

Cercon Art.

http://www.cercon-smart-ceramics.com/Zahntechniker/_pdfs/cercon_art/PDF_DFUCercon_Art/Cercon_.pdf

37. DEGUDENT.

Cercon Brain.

http://www.cercon-smart-ceramics.com/Zahntechniker/Cercon_Das_System/cercon_Brain.htm

38. DEGUDENT.

Cercon Eye.

http://www.degudent.com/Communication_and_Service/Download/2008/cercon/cercon_eye_F.pdf

39. DE JAEGHER P.

La gestion de cabinet en ligne.

Clinic 2005;**26**:20-21.

40. DE JAEGHER P.

Formation continue obligatoire et Internet.

Clinic 2007;**28**(suppl. 2):21.

41. DEKLERCK E et ANDRIEU P.

Procera (Nobel Biocare).

Stratégie Prothétique 2000;**2**(2):145-149.

42. DIGILEA.

Digistell, 1^{er} logiciel de CAO pour prothèses mobiles-stellites.

<http://www.digilea.com/digistell.html>

43. DOWNES PK.

Creating a practice website.

Br Dent J 2007;**202**:597-604.

44. DUFOUR P, VIENNOT S et MILLET C.

Identification des prothèses amovibles par fréquences radio.

Inf Dent 2005;**87**(17):1003-1007.

45. DURET F, DURET B et PELISSIER B.

Les différentes méthodes de prise d'empreinte en CFAO.

Stratégie Prothétique 2003;**3**(5):343-349.

46. DURET F, DURET B et PELISSIER B.

Peut-on envisager de faire des empreintes optiques en bouche ?

Stratégie Prothétique 2005;**5**(1):67-74.

47. DURET F, DURET B et PELISSIER B.

CFAO, Le temps des pionniers.
Inf Dent 2007a;**89**(29):1659-1662.

48. DURET F, DURET B et PELISSIER B.

CFAO, Le temps des démonstrations.
Inf Dent 2007b;**89**(29):1663-1668.

49. DURET F, DURET B et PELISSIER B.

CFAO, Un futur prometteur.
Inf Dent 2007c;**89**(29):1704-1712.

50. D4D TECHNOLOGIES LLC.

E4D Dentist™.
<http://www.d4dtech.com>

51. FAUQUET-ROURE C, SIMON JS, WIECHMANN D et coll.

Vers une orthodontie linguale individualisée.
Rev Orthop Dentofac 2005;39:237-255.

52. FAURE J, OUEISS A, MARCHAL-SIXON C et coll.

Céphalométrie tridimensionnelle : application en clinique et en recherche.
Orthod Fr 2008;79:13-30.

53. FORTIN T, CHAMPLEBOUX G, BUATOIS H et coll.

Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur en implantologie orale : note technique portant sur un guide chirurgical.
Inf Dent 2002;**84**(35):2589-2597.

54. GARINO F et GARINO GB.

Comparison of dental arch measurements between stone and digital cast.
World J Orthod 2002;3:250-254.

55. GARINO F et GARINO GB.

From digital cast to digital occlusal set-up : an enhanced diagnostic tool.
World J Orthod 2003;**4**(2):162-166.

56. GARINO F et GARINO GB.

Digital treatment objectives: procedure and clinical application.
Progress Orthod 2004;**5**(2):248-256.

57. GEODIGM CORPORATION.

Système Emodel.
<http://www.geodigmcorp.com>

58. GILLOT L et CANNAS B.

Mise en charge immédiate avec une prothèse élaborée avant la phase chirurgicale.
Inf Dent 2005;**87**(31):1871-1876.

59. GINISTY J.

Ergonomie informatique.
Inf Dent 2005;**87**(29):1739-1742.

60. GOBERT B.

La polyvalence du système Wolceram®.
Stratégie Prothétique 2004;**4**(1):47-56.

61. HABIB B.

Nouvelles technologies et communication.
Inf Dent 2006;**88**(13):676.

62. HAJEER MY, MILLET DT, AYOUB AF et coll.

Application of 3D imaging in orthodontics : part II.
J Orthod 2004;**31**(2):154-162.

63. HAUTE AUTORITE DE SANTE.

Certification des sites Internet santé.
http://www.hassante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/charte_has_bdm170907f...

64. HAUTE AUTORITE DE SANTE.

Charte de qualité des bases de données médicales destinées à l'usage des logiciels d'aide à la prescription, candidats à la certification de la HAS.
http://has-sante.fr/portail/jcms/c_590233/les-logiciels-d-aide-a-la-prescription...

65. HAUTE AUTORITE DE SANTE.

Dossier du patient : réglementation et recommandations.
http://has-sante.fr/portail/jcms/c_267914/dossier-du-patient-fascicule-1-r...

66. HAUTE AUTORITE DE SANTE.

Evaluation des prothèses dentaires à infrastructure céramique, rapport de la Haute Autorité de Santé.
http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/rap_protheses...

67. HEID DW, CHASTEEN J et FORREY AW.

Le dossier dentaire informatisé.
J Contemp Dent Pract 2002;**1**(3):43-54.

68. INCOGNITO.

TOP-Service für Lingualtechnik GmbH - 3M.
<http://www.lingualtechnik.de/>

69. INVISALIGN.

Guide d'évaluation du ClinCheck.
http://www.aligntechinstitute.com/files/pdf/Foreign/CEG_F.pdf.

70. INVISALIGN.

Guide de référence Invisalign.
http://aligntechinstitute.com/files/pdf/foreign/RefGuide_F.pdf.

71. JOFFE L.

Digital models for a digital era.
J Orthod 2004;31:344-347.

72. JOSELL SD et SIEGEL SM.

An overview of Invisalign Treatment.
Continuing Education : the Baltimore college of dental surgery, university of Maryland dental school, 2007

73. JOURDA G et GAILLARD J.

Système expert et logiciel de tracé de plaques.
Rev Odontostomatol 1991;20(3):223-229.

74. JOURDA G.

Le dossier prothèse du patient : assurance-traçabilité.
Chir Dent Fr 2002;1082:236-239.

75. KALANGE JT.

Indirect bonding : a comprehensive review of the advantages.
World J Orthod 2004;5(4):301-307.

76. KAVO-EVEREST.

Brochure d'information technique.
<http://www.kavo-everest.com/functions/csdownload3.aspx?id3534&org=>

77. LASSERRE JF, GAMBADE S et CHEVALIER JM.

Enquête auprès de prothésistes dentaires sur la communication cabinet/laboratoire.
Stratégie Prothétique 2006;6(1):47-54.

78. LASSERRE JF, D'INCAU E et POP IS.

La couleur en odontologie.
Cah Prothèse 2006;135:25-50.

79. LAVA™ .

Lava™ Chairside Oral Scanner C.O.S. Digital 3D Scanner from 3M ESPE
Deutschland Brontes digital.
http://www.solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/LavaCOS/3MESPE-LavaCOS/?

80. LEGIFRANCE

Loi n°2002-303 du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé.
<http://www.legifrance.gouv.fr/texteconsolide/ARECB.htm>

81. MAH J.

The cutting edge.
J Clin Orthod 2003;37:101-103.

82. MAH J et SACHDEVA R.

Computer-assisted orthodontic treatment : the SureSmile process.
Am J Orthod Dentofac Orthop 2001;**120**(1):85-87.

83. MCNAMARA JA et BRUDON WL.

Invisible retainers and aligners. Orthodontics and dentofacial orthopedics.
Ann Arbor : Needham, 2001:475-486.

84. MEDINA E et GARERA R.

Brackets et arcs destinés à l'orthodontie linguale : conception et fabrication assistées par ordinateur.
Inf Dent 2004;**86**(28):1875.

85. MEIER B, WIEMER KB, MIETHKE RR.

Invisalign-Patient profiling.
J Orofac Orthop 2003;**64**(5):352-358.

86. MELKOS AB.

Advances in digital technology and orthodontics : a reference to the Invisalign method.
Medi Sci Monitor 2005;**11**(5):139-142.

87. MILLER RJ et BIER J.

Surgical navigation in oral implantology.
Implant Dent 2006;**15**(1):41-47.

88. MILLER RJ, DUONG TT et DERACKHSHAN M.

Lower incisor extraction treatment with the Invisalign system.
J Clin Orthod 2002;**36**(2):95-102.

89. MINOLTA.

Scanner laser VI 910.
<http://3dsolutions.fr>

90. MORIN F.

Que faire du dossier médical informatisé ?
Inf Dent 2007;**89**(31):1849-1851.

91. MÖRMANN WH.

The evolution of the Cerec System.
J Am Dent Assoc 2006;**137**(suppl.):7S-13S.

92. MULLER C et SIMON JS.

L'orthodontie moderne. Traitements Esthétiques.
Inf Dent 2007;**89**(12):581-585.

93. MULLER-HARTWICH R, PRAGER TM, JOST-BRINKMANN PG.

SureSmile-CAD/CAM system for orthodontic treatment planning, simulation and fabrication of customized archwires.

Int J Comput Dent 2007;**10**(1):53-62.

94. NABBOUT F et FAURE J.

Anatomie dentaire et orthodontie. L'apport du scanner 3D.

Orthop Dentofac 2003;37:59-74.

95. NABBOUT F, FAURE J, BARON P et coll.

L'ancrage dentaire en orthodontie : les données du scanner.

Int Orthod 2004;**2**(3):241-256.

96. NEGREL D.

Stellite par Cad/Cam : enfin !

Tech Dent 2007;243:33-38.

97. NEWTOM.

NewTom 3G.

<http://www.sitech.fr/newtom3g.html>

98. NOBELBIOCARE.

Solutions dento-portées – logiciels et scanners.

<http://www.nobelbiocare.com/fr/individualized-prosthetics/products/software-s.aspx>

99. ORAMETRIX.

Système Oramétrix.

<http://www.oramétrie.com>

100. ORDRE NATIONAL DES CHIRURGIENS DENTISTES.

Charte ordinaire de « qualité » applicable aux sites web des chirurgiens-dentistes.

<http://www.ordre-chirurgiens-dentistes.fr/accueilDoc/CharteWeb15030808.pdf>

101. ORTET S, HUMEAU A, MONLEAU JD et coll.

Le relevé de couleurs : techniques avancées.

Inf Dent 2005;**87**(33):1995-2000.

102. ORTHALIS.

Modélis, un logiciel d'animation et de présentation des cas en 3D.

<http://www.orthalis.fr/orqual/modelis.htm>

103. ORTHOCAD.

Virtual Orthodontic Treatment - OrthoCAD.

<http://www.orthocad.com>

104. PARKS ET.

Digital radiographic imaging : is the dental practice ready ?

J Am Dent Assoc 2008;**139**(4):477-481.

105. PARLEMENT EUROPEEN.

Proposition de directive relative à l'application des droits des patients en matière de soins de santé transfrontaliers.

http://ec.europa.eu/health/ph_overview/co_operation/healthcare/docs/COM_fr.pdf

106. PERELMUTER S, DE COOMAN J, DEGRANGE M et coll.

Les céramo-céramiques, Dossiers de l'ADF.

Paris : Association Dentaire Française, 2005:38-41.

107. PETIPAS L.

Arcade dentaire et imagerie tridimensionnelle.

Orthod Fr 2004;75:185-199.

108. PINSKY H, CHAMPLEBOUX G et SARMENT D.

Periapical surgery using CAD/CAM guidance : preclinical results.

J Endod 2007;33(2):1481-1451.

109. REDMOND WR.

Wireless orthodontics.

Am J Orthod Dentofac Orthop 2001;120:325-327.

110. REKOW D, STRUB R et WITKOWSKI S.

Computer-aided designed and fabrication of dental restorations : current systems and future possibilities.

J Am Dent Assoc 2006;137:1289-1296.

111. REMOND WJ.

The OrthoCad bracket placement solution.

Am J Orthod Dentofac 2004;145:645-646.

112. ROBIANI E, CANNAS B et GILLOT L.

Procera software et Nobel Guide, 2e partie : application clinique.

Cah Prothèse 2006;133:65-68.

113. ROLAND

Scanner laser LPX.

<http://www.3dsolutions.fr>

114. ROOSE P.

L'âge d'or... Histoire des micro-ordinateurs.

Paris : Cépaduès, 2005.

115. SANS AUTEUR.

Numérique et cabinet dentaire : le début d'une grande histoire.

Inf Dent 2006;88(8):391-392.

116. SANS AUTEUR.

Internet, un nouvel outil à intégrer aux pratiques.

Chir Dent Fr 2008;1370:80-81.

117. SANS AUTEUR.

Le site de l'Ordre certifié Health On the Net.
La Lettre 2008;**71**:16-17.

118. SANTORO M, GALKIN S, TEREDESAI M et coll.

Comparison of measurements made on digital and plaster models.
Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;**124**:101-105.

119. SCHWARZ JJ.

Architecture des ordinateurs.
Paris : Eyrolles, 2005.

120. SIMON JS et MULLER C.

L'orthodontie moderne. Appareillages esthétiques.
Inf Dent 2006;**88**(18):1043-1048.

121. SIMON JS, RAYBAUD P, ROUSSARIE F.

Utilisation de la technique Incognito pour les traitements d'orthodontie linguale chez l'enfant.
Orthop Dentofac 2007;**41**:77-94.

122. SIRONA.

Systèmes CAO/FAO.
http://www.sirona.fr/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_FR_systems_cao_cfo

123. SOPRO.

Acteon Imaging-Produits dentaires-Caméras intra-orales.
http://www.sopro.fr/prod_exl_list.aspx?id_menu=53

124. STELLIGRAPHE.

Stelligraphe-Dental Prosthesis design.
<http://www.stelligraphe.fr>

125. TERVIL B.

La photographie numérique en odontologie : relation praticien, patient, et laboratoire.
Paris : CdP, 2006a:31-45.

126. TERVIL B.

La photographie numérique en odontologie : relation praticien, patient, et laboratoire.
Paris : CdP, 2006b:80-86.

127. TERVIL B.

La photographie numérique en odontologie : relation praticien, patient, et laboratoire.
Paris : CdP, 2006c:90-101.

128. TREIL J et CASTEIGT J.

Céphalométrie tridimensionnelle à l'usage des ortodontistes, des chirurgiens maxillo-faciaux et des anthropologues.
<http://www.dentalespace.com/dentiste/formation/217-cephalometrie-tridim...>

129. TROST L, STINES S et BURT L.

Making informed decisions about incorporating a CAD/CAM system into dental practice.

J Am Dent Assoc 2006;**137**:32-36.

130. UMAR H.

Fonctionnalités des systèmes informatisés d'aide à la décision clinique : incidences pour le praticien dentaire.

J Contemp Dent Pract 2002;**3**(1):27-42.

131. UNGER F.

La CFAO en question.

Le Fil Dentaire 2008;**33**:16-18.

132. VASSAL JP.

Site Internet du Chirurgien Dentiste.

Inf Dent 2008;**90**(27/28):1527-1529.

133. VIGARIOS E, GRHRENASSIA C, ESCLASSAN R et coll.

Conception-fabrication assistée par ordinateur en prothèse maxillo-faciale.

Cah Prothèse 2005;**130**:67-73.

134. VLASKALIC V et BOYD R.

Orthodontic treatment of mildly crowded malocclusion using Invisalign system.

Aust Orthod J 2002;**17**(1):41-46.

135. WIECHMANN D.

La nouvelle attache TOP : un progrès en orthodontie linguale.

Int Orthod 2003;**1**:119-138.

136. WIECHMANN D, RUMMEL V, THALHEIM A et coll.

Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment.

Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;**124**:593-599.

137. WITKOWSKI S et LANGE R.

Application de la stéréolithographie dans la technique dentaire.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2003;**113**(8):879-884.

138. XIEM P, PAUL H LING.

Clinical limitation of invisalign.

J Can Dent Assoc 2007;**73**(3):263-266.

139. ZEROULON S, RIHON P et SUTTOR D.

Système Lava™.

Stratégie Prothétique 2004;**4**(1):7-15.

140. ZILBERMAN O.

Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurement using conventional and three dimensional virtual orthodontics models.

Angle Orthod 2003;**73**:301-306.

TABLE DES ABREVIATIONS

B.M.P.	: Bitmap
C.A.D.	: Computer Assisted Design
C.A.M.	: Computer Assisted Manufacturing
C.A.O.	: Conception Assistée par Ordinateur
C.C.D.	: Charged Coupled Device
C.D.	: Compact Disk
C.F.A.O.	: Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur
C.M.O.S.	: Complementary Metal Oxyde Semi-conductor
C.M.U.	: Couverture Maladie Universelle
C.N.I.L.	: Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
C.P.S.	: Carte de Professionnel de Santé
CD-ROM	: Compact Disk Read Only Memory
C.T.	: Computerized Tomography
C.V.I.M.A.R.	: Ciment Verre Ionomère Modifié par Adjonction de Résine
D.C.M.	: Dysfonction Crânio-Mandibulaire
D.D.D.	: Dysharmonie Dento-Dentaire
D.I.C.O.M.	: Digital Imaging and Communication in Medicine
D.I.D.	: Dental Identification Device
D.M.I.	: Dossier Médical Informatisé
D.M.P.	: Dossier Medical Personnel
D.O.S.	: Disk Operating System
D.V.D.	: Digital Versatile Disk
E.R.L.M.	: Ecran Radio Luminescent à Mémoire
F.A.O.	: Fabrication Assistée par Ordinateur
F.S.E.	: Feuille de Soins Electronique
G.I.E.	: Groupement d'Intérêt Economique
G.M.C.A.O.	: Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur
Go	: Gigaoctet
H.I.P.	: Hot Isostatic Pressed
H.O.N.	: Health On the Net
H.T.M.L.	: Hyper Text Markup Langage
H.T.T.P.	: Hyper Text Transfert Protocol
I.P.	: Internet Protocol
J.P.E.G.	: Joint Photographic Experts Group
Ko	: Kilo-octet
L.	: Lower
L.A.S.E.R.	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
L.C.D.	: Liquid Cristal Display
L.P.X.	: Low Profile eXtension
M.D.X.	: Multidimensional Expressions
M.P.U.	: Modèle Positif Unitaire
Mac-OS	: Macintosh Operating System
Mo	: Méga-octet
N.T.I.C.	: Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication
P.C.	: Personal Computer
P.D.F.	: Portable Document Format

P.S.S.	Photo Stimulable Phosphore System
Pré.A.O.	: Présentation Assistée par Ordinateur
P.V.S.	: Polyvinyl Siloxane
R.A.M.	: Random Access Memory
R.I.P.	: Réduction InterProximale
R.O.M.	: Read Only Memory
R.S.S.	: Réseau Santé Social
R.V.G.	: RadioVisioGraphie
S.L.A.	: Stereolithography
S.L.S.	: Selective Laser Sintering
S.M.S.	: Short Message Service
S.T.L.	: Standard Transformation Language
T.C.P./I.P.	: Transmission Control Protocol/Internet Protocol
T.D.M.	: TomoDensitoMétrie
T.I.F.F.	: Tagged Image File Format
T.P.A.	: Treatment Planning Advice
U.	: Upper
U.S.B.	: Universal Serial Bus
2D	: Bidimensionnelle
3D	: Tridimensionnel

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure	3 : constitution d'un capteur CCD
Figure	4 : principes de fonctionnement des ERLM et des CCD
Figure	5 : avantages et inconvénients des CCD et ERLM
Figure	6 : schématisation du capteur CCD
Figure	7 : caméra endo-buccale Sopro® 595
Figure	8 : caméra endo-buccale Sopro® 717 avec aide au choix des teintes (concept SoproShade®)
Figure	9 : caméra Soprolife®
Figure	10 : Soprolife® mode « Daylight » ou grossissement x30 à x100
Figure	11 : Soprolife® mode « Aide au Diagnostic », ou évaluation des lésions carieuses grâce aux variations de l'auto fluorescence
Figure	12 : Soprolife® mode « Aide au Traitement » ou détermination des tissus sains en per-opératoire
Figure	13 : maquette qui servira à la conception du guide radiologique Nobel Guide®
Figure	14 : guide d'imagerie Nobel Guide® et enregistrement des RIM
Figure	15 : reconstitution numérique de la situation du guide Nobel Guide® sur le maxillaire
Figure	16 : simulation du positionnement des implants avec Nobel Guide®
Figure	17 : guide chirurgical Nobel Guide® élaboré par CFAO
Figure	18 : guide radiologique Cad-implant®
Figure	19 : gouttière radiologique Cad-Implant® placée en bouche lors de l'examen tomodensitométrique
Figure	20 : planification sur le logiciel Cad-implant®
Figure	21 : forage de la gouttière radiologique par le bras robotisé
Figure	22 : modèle en plâtre et gouttière radiologique après forage
Figure	23 : statistiques sur les vols de matériel informatique
Figure	24 : clavier lisse en verre trempé Tactys® T907
Figure	25 : clavier lumineux KaVo®
Figure	26 : saisie des paramètres du patient avec Stelligraphe®
Figure	27 : obtention des tracés avec Stelligraphe®,

Figure	28 : tracé définitif avec Stelligraphe®
Figure	29 : caractéristiques techniques de différents spectrophotomètres et colorimètres
Figures	30 : les 4 étapes du relevé de couleur avec le concept SoproShade®
Figure	31 : le transpondeur passif et le lecteur <i>LECTid-one</i>
Figure	32 : le transpondeur inséré dans la prothèse puis recouvert de résine
Figure	33 : la caméra endo-buccale Cerec®
Figure	34 : Proc era® <i>Piccolo</i> et Procera® <i>Forte</i>
Figure	35 : Cerec® <i>Chairline</i> , intégrée à l'unit et l'unité de prise d'empreinte Cerec®
Figure	36 : scanner <i>InEos</i> de Cerec® et unité de scannage-usinage Cerec® <i>InLab MCXL</i>
Figure	37 : Cercon® <i>Eye</i> de Degudent®
Figure	38 : détection des limites de préparation avec le logiciel Cerec® <i>InLab</i>
Figure	39 : application des surfaces antagonistes virtuelles, vérification de l'occlusion avec Cerec® <i>InLab</i>
Figure	40 : prévisualisation de la future restauration, coupe virtuelle avec Cerec® <i>InLab</i>
Figure	41 : visualisation de la restauration dans le bloc TriLuxe® avec Cerec® <i>InLab</i>
Figure	42 : le logiciel Cercon® <i>Art</i>
Figure	43 : les différents axes de fraisage possibles
Figure	44 : station d'usinage Cerec® <i>InLab MCXL</i>
Figure	45 : station d'usinage Cercon® <i>Brain</i>
Figure	46 : imprimante <i>Wax-Pro</i> de Cynovad® et les maquettes en cire réalisées
Figure	47 : le scanner 3D InVision DP®, le logiciel 3D InVision DP®, le modelleur 3D
Figure	48 : InVision DP® par la société 3D Systems®
Figure	49 : wax-up en résine photosensible
Figure	50 : différents blocs de matériaux (<i>VITA, Ivoclar Vivadent, Sirona, Merz</i>) utilisables avec le système Cerec InLab®
Figure	51 : les 14 étapes nécessaires à la réalisation d'un châssis par le système Digistell®
Figure	52 : empreinte optique visualisée dans le <i>Viewer 3D</i> de Cerec® 3D

Figure	53 : détection des limites de préparation avec Cerec® 3D
Figure	54 : vérification des points de contact occlusaux et inter proximaux, vérification de l'épaisseur par coupe virtuelle longitudinale avec Cerec® 3D
Figure	55 : modification de la restauration à l'aide de la palette d'outils de Cerec® 3D
Figure	56 : unité d'usinage de Cerec® 3D
Figure	57 : taux de survie de diverses techniques de restaurations
Figure	58 : scanner intra oral SureSmile®
Figure	59 : chariot comprenant le module de balayage, l'ordinateur et l'écran
Figure	60 : la technique SureSmile®
Figure	61 : scanner laser 3D LPX-600
Figure	62 : scanner laser 3D LPX-1200
Figure	63 : scanner 3D MDX-15
Figure	64 : Cepha 3d® avec l'analyse du Dr Treil
Figure	65 : reconstruction dentaire réalisée avec <i>C2000</i>
Figure	66 : exemple de reconstruction 3D
Figure	67 : page d'accueil du logiciel OrthoCad®
Figure	68 : fenêtre pour la manipulation des moulages avec OrthoCad®
Figure	69 : visualisation des contacts occlusaux sur les modèles avec OrthoCad®
Figure	70 : coupe sagittale des modèles avec OrthoCad®
Figure	71 : coupe transversale des modèles avec OrthoCad®
Figure	72 : mesures de l'overjet et de l'overbite avec OrthoCad®
Figure	73 : mesure de la longueur de l'arcade avec OrthoCad®
Figure	74 : mesure mésio-distale des dents avec OrthoCad®
Figure	75 : calcul de l'espace avec OrthoCad®
Figure	76 : calcul de l'indice de Bolton avec OrthoCad®
Figure	77 : les mesures possibles sur l'arcade avec OrthoCad®
Figure	78 : analyse de Tanaka-Johnston et de Moyers avec OrthoCad®
Figure	79 : les mesures et fonctions possibles avec OrthoCad®
Figure	80 : page d'accueil du logiciel Emodels®
Figure	81 : présentation des modèles avec Emodels®
Figure	82 : visualisation des contacts occlusaux avec Emodels®

Figure	83 : coupe des modèles avec Emodels®
Figure	84 : les mesures possibles avec Emodels®
Figure	85 : mesures du surplomb et du recouvrement avec Emodels®
Figure	86 : les <i>aligners</i> Invisalign®
Figure	87 : la charte des R.P.I.
Figure	88 : les formes des attachements Invisalign®
Figure	89 : les localisations des attachements ovales
Figure	90 : la localisation des attachements rectangulaires
Figure	91 : tableau récapitulatif
Figure	92 : schéma d'un stéréolithographe
Figure	93 : page d'accueil Bibliocast®
Figure	94 : mesure du surplomb et du recouvrement avec Bibliocast®
Figure	95 : les mesures possibles avec Bibliocast®
Figure	96 : ajustement de l'occlusion avec Bibliocast®
Figure	97 : page d'accueil du set-up sur OrthoCad®
Figure	98 : le réglage des rapports incisifs avec OrthoCad®
Figure	99 : simulation d'un traitement sans extraction à la mandibule
Figure	100 : simulation d'un traitement avec extraction à la mandibule
Figure	101 : les rapports dentaires à la fin du traitement
Figure	102 : visualisation des impacts du set up sur la largeur d'arcade
Figure	103 : fermeture des diastèmes et occlusogramme
Figure	104 : correction de la position des brackets
Figure	105 : individualisation de la forme d'arcade
Figure	106 : prise en charge de la troisième molaire
Figure	107 : plan d'alignement des brackets
Figure	108 : manœuvre de collage avec le système OrthoCad®
Figure	109 : collage avec le système OrthoCad® au cabinet
Figure	110 : fabrication d'arcs et de brackets sur mesure
Figure	111 : gouttière de collage
Figure	112 : sablage intrabuccal
Figure	113 : pose du Dry Field et du Dry Tip
Figure	114 : mordançage des dents
Figure	115 : rinçage et séchage des dents

- Figure 116 : mise en place du système de collage
- Figure 117 : collage
- Figure 118 : élimination des excès et vérification de l'occlusion
- Figure 119 : mise en place de l'arc

AUTORISATIONS DE REPRODUCTION

A : Anaïs GODEFROI [mailto:godefroi.anais@wanadoo.fr]

Bonjour,

C'est avec plaisir que nous vous autorisons à utiliser cette image et vous remercions de votre intérêt pour nos claviers.

Cordialement

Manuelle Mauger

TACTYS

58 Rue Yves Kermen

92140 - CLAMART

+33 (0) 1 46 31 16 21

+33 (0) 6 60 94 99 38

manuelle.mauger@tactys.com

A : Anaïs GODEFROI [mailto:godefroi.anais@wanadoo.fr]

Madame, Monsieur,

Les Editions CdP vous autorisent à utiliser ces images, en indiquant en légende "© Editions CdP" et en mentionnant les ouvrages dans votre bibliographie.

Vous souhaitant bonne chance pour votre thèse,

Bien à vous,

Véronique Seignard-Kowalewski

Bonjour,

Je vous remercie de la confiance que vous nous témoignez et vous confirme notre autorisation pour utiliser ces images.

Nous avons un tout nouveau produit "SOPROLIFE" dont vous pouvez obtenir plus d'information sur le site www.soprolife.fr qui vous sera peut-être très utile pour justifier le besoin d'une caméra "fluorescente" en odontologie conservatrice.

Etant à la faculté de Nantes, je vous suggère d'en parler avec le Pr Laboux qui connaît bien ce système.

Cordialement

Laurent Zenou

Chef de Produit

De : relais-acteon@c-icc.com [mailto:postmaster@c-icc.com]

Envoyé : mardi 16 juin 2009 14:37

À : laurent.zenou@sopro.acteongroup.com

Cc : suivi.icc@wanadoo.fr

Objet : Message en provenance du Site Internet
SITE INTERNET DU GROUPE ACTEON

Message en provenance du site Web

Votre Nom = GODEFROI

Prénom = Anaïs

Mesdames,

Nous vous autorisons avec plaisir à utiliser des images de notre site internet afin d'illustrer votre thèse.
Nous apprécierons fortement de recevoir un exemplaire de votre thèse par mail s'il vous en est possible.

Cordialement

Laetitia Mariet

Sirona Dental Systems
Systèmes CFAO
Marketing Manager France / Afrique du Nord

Tél. : +49 6251 16 2047

Fax : +49 6251 16 3399

Mobile : +49 174 321 23 35

Von: Info Sirona [mailto:info@sirona.fr]

Gesendet: Mittwoch, 10. Juni 2009 11:52

An: Mariet Laetitia

Betreff: TR: Autorisation de reproduction d'illustrations

De : Anaïs GODEFROI [mailto:godefroi.anais@wanadoo.fr]

De : Nir Danai <nir@orthocad.com>

À : "elmessaoudinajoua@yahoo.fr" <elmessaoudinajoua@yahoo.fr>

Envoyé le : Dimanche, 14 Juin 2009, 11h54mn 59s

Objet : OrthoCAD - demande d'autorisation

Dear Doctors,

The use of images from the OrthoCAD software for the purpose of your study is permitted.

Kind regards,

Nir Danai

Director of International Sales

nir@orthocad.com

Thank you for your interest in emodel® by GeoDigm Corporation, we really appreciate it. I can supply you with model pictures if you so desire. If you want to send us 1 case, we can give it to you free of charge. We welcome your input on our software.

Let me know if you would like me to create an account for you.

Let me know if you have any questions,

Justin Cermak

Customer Representative

GeoDigm Corporation

(866) 436-6335x5114

jcermak@geodigmc Corp.com

Please see the attached photography for your presentation. If you need more help, feel free to contact me directly.

Regards,

Maria

From: noreply@suresmile.com [mailto:noreply@suresmile.com]
Sent: Thursday, June 11, 2009 6:49 AM
To: Customer Support
Subject: SureSmile.com Contact Us Submission

Bonjour,

Vous avez toute à fait la possibilité d'utiliser les images du site www.sitech.fr pour illustrer votre document avec des images du NewTom. Je vous demanderai seulement d'en avoir une copie si c'est possible.

Cependant, la qualité de ces images a été réduite pour une utilisation sur internet. Je me propose donc de vous faire parvenir des images d'une plus grande qualité.

Indiquez moi le type d'images dont vous avez besoin et je vous les transmettrai. Si vous me donnez un numéro de téléphone, je peux vous contacter pour en parler.

Je reste à votre disposition si vous avez des questions.

Cordialement,

Sébastien Siguenza
SiTech SARL
04.76.96.31.09
06.98.14.15.80

GODEFROI ANAIS et NACIRI- EL MESSAOUDI NAJOUA. – Odontologie assistée par informatique : apport en prothèse et en orthodontie. - 226 f. ; ill. ; 140 réf. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2009)

RESUME :

Applications administratives, comptables ou encore cliniques : l'informatique est devenue incontournable au cabinet dentaire. En 30 ans, elle a bouleversé l'exercice quotidien du Chirurgien Dentiste. D'abord avec les logiciels de gestion, puis avec la radiographie numérique. Aujourd'hui, avec les nouveaux outils de communication praticien-patient-prothésiste. Et se profile déjà à l'horizon une explosion des processus automatisés en odontologie : gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur, conception et fabrication de prothèses assistées par ordinateur...

C'est à cette assistance informatique et à ses apports dans la pratique prothétique et orthodontique que s'intéresse spécifiquement ce travail et ce, depuis l'étape diagnostique jusqu'à la pose de pièces prothétiques ou orthodontiques en bouche.

Au préalable, seront rappelées des notions historiques et fondamentales sur l'informatique, ainsi que ses contraintes et désagréments en cabinet dentaire.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Prothèse dentaire ; orthopédie dento-faciale.

MeSH : Prothèse dentaire – Dental prosthesis – Orthodontie – Orthodontics – Informatique – Automatic data processing – Technologie dentaire – Technology, dental – Conception prothèse dentaire – Dental prosthesis design – Conception d'appareil orthodontique – Orthodontic appliance design.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Alain JEAN

Directeur : Monsieur le Docteur Yves AMOURIQ

Assesseur : Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET

Assesseur : Monsieur le Docteur Eric CHABERLIN

ADRESSE DES AUTEURS :

GODEFROI Anaïs : godefroi.anaïs@wanadoo.fr

NACIRI- EL MESSAOUDI Najoua : elmessaoudinajoua@yahoo.fr