

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Comparaison des dimensions de l'arcade mandibulaire  
avant et après traitement orthodontique sans extraction

par

Cédric Cardona

Département de santé buccale

Faculté de médecine dentaire

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de  
Maître ès sciences (M.Sc)  
en médecine dentaire, option orthodontie

Avril 2009



© Cédric Cardona, 2009

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Le présent mémoire, intitulé :

Comparaison des dimensions de l'arcade mandibulaire  
avant et après traitement orthodontique sans extraction

Présenté par :

Cédric Cardona

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Docteur Jack Turkewicz, Professeur agrégé	Président-rapporteur
Docteure Athéna Papadakis, Professeure agrégée	Directrice de recherche
Docteur Claude Remise, Professeur titulaire	Co-directeur de recherche
Docteur Jean-Charles Létourneau, Chargé de cliniques	Membre du jury

Mémoire accepté le : \_\_\_\_\_

## SOMMAIRE

---

Lors d'un traitement orthodontique, l'orthodontiste doit tout mettre en œuvre pour minimiser le phénomène de récurrence post-traitement.

De nombreux articles scientifiques nous indiquent que la clé de voûte de la stabilité orthodontique demeure le maintien de la forme d'arcade initiale avant et après traitement orthodontique.

Parmi toutes les dimensions caractérisant la forme d'arcade, la distance inter-canines mandibulaire est celle qui devrait être la moins modifiée pendant le traitement.

Dans notre étude, nous avons comparé les dimensions de 45 paires de modèles en plâtre mandibulaires, avant et après traitement orthodontique sans extraction. Pour notre groupe de patients, dont le chevauchement mandibulaire était inférieur à 5 mm, nous avons montré que la distance inter-canines est moins modifiée que la distance inter-molaires et la longueur d'arcade. À ce titre, il serait intéressant de pouvoir évaluer, lors d'études futures, la stabilité post-contention de ce groupe de patients.

### Mots clés :

Modèles d'étude en plâtre (Plaster study models), Distance inter-canines (Inter-canine distance), Expansion mandibulaire (Mandibular expansion), Stabilité (Stability)

## ABSTRACT

---

One of the objectives during orthodontic treatment is to make every effort to minimize the phenomenon of post-treatment relapse.

Many scientific articles have hypothesized that one of the cornerstones of post-orthodontic treatment stability is the maintenance of the original arch form.

It has been suggested that of all the dimensions characterizing the arch form, mandibular inter-canine distance is the one that should be changed the least during treatment.

In our study, we compared the dimensions of 45 pairs of mandibular plaster models before and after orthodontic treatment without extraction. For our group of patients whose mandibular crowding was less than 5 mm, we found that the inter-canine distance was modified less than either the inter-molar distance or arch length. It would be interesting, in future studies, to assess the post-retention stability of this group of patients.

Key words :

Plaster study models (Modèles d'étude en plâtre), Inter-canine distance (Distance inter-canines), Mandibular expansion (Expansion mandibulaire), Stability (Stabilité)

# TABLE DES MATIÈRES

---

SOMMAIRE.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	x
REMERCIEMENTS.....	xi
DÉDICACES.....	xii
1 INTRODUCTION.....	13
2 RECENSION DES ÉCRITS.....	16
2.1 LES MODÈLES D'ÉTUDE ORTHODONTIQUES EN PLÂTRE..	17
2.1.1 Intérêt.....	17
2.1.2 Avantages.....	19
2.1.3 Inconvénients.....	19
2.1.4 Législation.....	20
2.2 ANALYSE DES MODÈLES D'ÉTUDE.....	20
2.2.1 Analyse qualitative.....	20
2.2.2 Analyse quantitative.....	21
2.2.3 Analyse dento-maxillaire.....	22
2.2.4 Occlusogramme.....	23
2.2.4.1 Avantages.....	25
2.2.4.2 Inconvénients.....	25
2.2.4.3 Analyse d'espace.....	26
2.2.4.4 Détermination du besoin d'extraire ou non.....	26
2.2.4.5 Transpositions des mouvements sur le tracé céphalométrique.....	26
2.2.5 Analyse dento-dentaire.....	27
2.2.6 Instruments de mesure.....	29
2.2.6.1 Compas à pointes sèches et règle graduée.....	29
2.2.6.2 Pied à coulisse ou vernier.....	30
2.3 ALTERNATIVES AUX MODÈLES EN PLÂTRE.....	31
2.3.1 Analyse des modèles en vision 2D.....	31
2.3.1.1 Pantographe dentaire.....	31
2.3.1.2 Traceur occlusal.....	31

2.3.1.3	Photocopie des modèles .....	31
2.3.1.4	Photographie des modèles .....	33
2.3.1.5	Scanneur à plat .....	34
2.3.1.5.1	Définition .....	34
2.3.1.5.2	Numérisation d'objet 2D .....	35
2.3.1.5.3	Numérisation d'objet 3D .....	36
2.3.1.5.4	Vision stéréoscopique .....	39
2.3.1.6	Stéréophotogrammétrie .....	41
2.3.2	Analyse des modèles en vision 3D .....	43
2.3.2.1	Hologramme .....	43
2.3.2.2	Reflex Metrograph .....	44
2.3.2.3	Microscope .....	45
2.3.2.4	Laser .....	45
2.4	FORME ET DIMENSIONS D'ARCADE .....	48
2.4.1	Formes géométriques standardisées .....	49
2.4.2	Forme d'arcade individualisée .....	50
2.4.3	Limites de l'arcade mandibulaire .....	53
2.4.4	Influence des extractions .....	56
2.4.5	Période de contention .....	57
2.4.6	Facteurs de stabilité .....	58
3	MÉTHODOLOGIE .....	61
3.1	MATÉRIEL .....	62
3.1.1	Modèles en plâtre .....	62
3.1.2	Pied à coulisse électronique .....	63
3.2	SÉLECTION DES CAS .....	64
3.2.1	Critères d'inclusion .....	64
3.2.2	Critères d'exclusion .....	64
3.3	DÉNOMINATION DES MODÈLES .....	64
3.4	ACQUISITION DES DONNÉES .....	65
3.5	ANALYSES STATISTIQUES .....	69
3.5.1	Comparaison des variables intra et inter-groupes .....	69
3.5.2	Fiabilité des mesures .....	69
4	RÉSULTATS .....	71
4.1	FIABILITÉ DES MESURES .....	73
4.2	VARIATIONS DIMENSIONNELLES PRÉ ET POST- TRAITEMENT .....	73
4.2.1	Comparaisons intra-groupe .....	76
4.2.2	Comparaisons inter-groupes .....	77
5	DISCUSSION .....	79
5.1	MATÉRIEL UTILISÉ .....	80
5.1.1	Modèles d'étude en plâtre .....	80
5.1.2	Pied à coulisse électronique .....	80

5.2	ACQUISITION DES DONNÉES .....	80
5.3	RÉSULTATS OBTENUS .....	81
5.3.1	Fiabilité des mesures.....	81
5.3.2	Comparaison des distances intra-groupe .....	81
5.3.2.1	Groupe complet .....	82
5.3.2.2	Groupe 1 : chevauchement léger .....	82
5.3.2.3	Groupe 2 : chevauchement modéré .....	82
5.3.2.4	Groupe 3 : chevauchement sévère.....	83
5.3.3	Comparaison des distances inter-groupes.....	83
5.3.3.1	Distance inter-canines .....	84
5.3.3.2	Distance inter-molaires.....	84
5.3.3.3	Longueur d'arcade.....	85
5.4	PERSPECTIVES D'AVENIR.....	86
6	CONCLUSION.....	88
7	BIBLIOGRAPHIE.....	91



## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>TABLEAU I</b>	Classification des coefficients de corrélation intra-classe	70
<b>TABLEAU II</b>	Test de fiabilité par calcul des ICC	73
<b>TABLEAU III</b>	ANOVA en mesures répétées du groupe complet	76
<b>TABLEAU IV</b>	ANOVA en mesures répétées intra-groupe	76
<b>TABLEAU V</b>	Comparaison des sites pour le groupe 3	77
<b>TABLEAU VI</b>	One-Way ANOVA inter-groupes	77

## LISTE DES FIGURES

---

<b>FIGURE 1</b>	Modèles d'étude en plâtre pré-traitement	18
<b>FIGURE 2</b>	Modèles d'étude en plâtre post-traitement	18
<b>FIGURE 3</b>	Photographies polaroïd des modèles et tracé de l'occlusogramme	24
<b>FIGURE 4</b>	Pied a coulisse (vernier) électronique ou numérique	30
<b>FIGURE 5</b>	Système photographique pour occlusogramme utilisé à l'Université de Montréal	34
<b>FIGURE 6</b>	Disposition des modèles sur la vitre du scanner et type d'image obtenue après numérisation	37
<b>FIGURE 7</b>	Le même modèle numérisé à deux endroits différents sur la vitre du scanner	38
<b>FIGURE 8</b>	Modèles mandibulaires pré (à gauche) et post-traitement (à droite)	63
<b>FIGURE 9</b>	Pied à coulisse électronique	63
<b>FIGURE 10</b>	Mesure de la distance inter-canines (distance A)	67
<b>FIGURE 11</b>	Mesure de la distance inter-molaires (distance B)	67
<b>FIGURE 12</b>	Mesure de la longueur d'arcade (distance E = C+D)	68
<b>FIGURE 13</b>	Variation de la distance inter-canines	74
<b>FIGURE 14</b>	Variation de la distance inter-molaires	75
<b>FIGURE 15</b>	Variation de la longueur d'arcade	75
<b>FIGURE 16</b>	Comparaison des moyennes intra et inter-groupes	78

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

---

°	Degré
/	Divisé par
<b>3-DO</b>	Logiciel informatique
<b>2D</b>	Deux dimensions
<b>3D</b>	Trois dimensions
<b>A</b>	Distance inter-canines
<b>A2A1</b>	Variation de la distance inter-canines
<b>ANOVA</b>	<i>Analysis of variance</i>
<b>B</b>	Distance inter-molaires
<b>B2B1</b>	Variation de la distance inter-molaires
<b>C</b>	Longueur d'arcade gauche
<b>D</b>	Longueur d'arcade droite
<b>E</b>	Longueur d'arcade totale ( $E = C+D$ )
<b>E2E1</b>	Variation de la longueur d'arcade
<b>GATWD</b>	<i>Graphical Analysis of Tooth-Width Discrepancy</i>
<b>HATS</b>	<i>Hamilton Arch Tooth System</i>
<b>ICC</b>	Coefficient de corrélation intra-classe
<b>mm</b>	Millimètres
<b>PAR</b>	<i>Peer Assessment Rating</i>

## REMERCIEMENTS

---

Je tiens à remercier chaleureusement les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet de recherche.

**Madame la Docteure Athéna Papadakis**, merci d'avoir accepté si spontanément d'être ma directrice de recherche. Je vous remercie pour vos encouragements et pour votre soutien tout au long de ce projet. Par vos qualités humaines et professionnelles, vous avez été une référence tout au long de ma formation en orthodontie.

**Monsieur le Docteur Claude Remise**, le jour où vous m'avez accepté au sein du programme d'orthodontie, vous avez réalisé mon rêve de carrière. Je vous remercie pour votre grande disponibilité, pour la confiance que vous m'avez accordée au quotidien, et pour la richesse de votre enseignement. Merci d'avoir pris en charge la co-direction de ce projet et d'avoir permis qu'il aboutisse.

**Monsieur le Docteur Jack Turkewicz**, merci d'avoir accepté sans hésitation de participer à la correction de ce mémoire à titre de président-rapporteur. Je vous remercie pour votre dévouement et pour la qualité de votre enseignement. Votre approche clinique a été un guide précieux lors de ma formation d'orthodontiste.

**Monsieur le Docteur Jean-Charles Létourneau**, merci de me faire l'honneur de participer au jury de ce projet de maîtrise. Je vous remercie pour votre générosité et pour vos précieux conseils. Merci de nous faire partager, tous les mardis, votre expérience clinique.

**Monsieur Pierre Rompré**, merci d'avoir réalisé l'analyse statistique des résultats de ce projet. Merci pour votre disponibilité et pour la qualité de votre enseignement.

## DÉDICACES

---

À mon épouse Ariane,

À nos enfants Martin et Thomas,

Merci à tous les trois, avec tout mon amour, pour m'avoir permis de vivre cette grande aventure.

À mes Parents,

À mon frère Lionel,

À mes grands-parents,

Merci à toutes et à tous pour votre soutien permanent et vos encouragements.

# CHAPITRE UN

## 1 INTRODUCTION

## 1. INTRODUCTION

Le principal motif de consultation des patients traités en orthodontie est la correction du chevauchement dentaire. L'orthodontiste va tout mettre en œuvre durant le traitement pour répondre du mieux possible à la demande de son patient. Les exigences de l'orthodontiste vont même au-delà de la simple correction du chevauchement dentaire. En effet, à la fin de la première phase du traitement, les dents sont déjà quasiment alignées. Le patient va focaliser sur l'alignement dentaire antérieur ; tandis que l'orthodontiste va prendre en considération d'autres facteurs essentiels à la stabilité future du traitement.

Lors du traitement orthodontique, l'orthodontiste réalise l'alignement et le nivellement des arcades dentaires. Une fois les dents alignées sur les arcades, il va chercher à obtenir la meilleure occlusion possible en faisant correspondre les deux arcades l'une avec l'autre. Avec l'aspect esthétique, le rétablissement de la fonction est donc un des buts principaux du traitement orthodontique.

Mais le traitement orthodontique n'a pas seulement des répercussions au niveau dentaire. Le visage du patient peut également être modifié. La notion d'esthétique faciale est un critère primordial lors de l'établissement du plan de traitement. Le traitement peut aussi avoir des répercussions au niveau de la fonction oro-faciale : au niveau de la respiration, de la déglutition, de la phonation et de l'articulation temporo-mandibulaire. De plus, les mouvements dentaires doivent être réalisés dans le meilleur contexte parodontal possible, en préservant une zone de gencive attachée adéquate, et en maintenant les dents sur leur crête osseuse.

L'ensemble de ces notions nous montre la complexité du traitement orthodontique qui ne se limite pas à aligner des dents mais aussi à préserver (ou à améliorer) l'esthétique faciale et la fonction oro-faciale.

En outre, la préservation de certaines dimensions pré-traitement au niveau des arcades dentaires pourrait conditionner la stabilité future du traitement orthodontique.

A la fin du traitement orthodontique, toutes les dents devraient être correctement alignées sur les arcades. Mais le devoir de l'orthodontiste ne s'arrête pas à la fin du traitement actif. Il doit tout mettre en œuvre pendant le traitement pour minimiser le phénomène de récurrence après le traitement orthodontique. Les appareillages de contention aident l'orthodontiste à maintenir le résultat final, mais il est assez difficile de motiver tous nos patients quant au port d'une contention à vie. C'est durant le traitement orthodontique lui-même, en choisissant les mécaniques, les forces délivrées et le type de mouvement dentaire, que l'orthodontiste va pouvoir minimiser (et non annuler complètement) le phénomène (naturel) de récurrence.

De nombreux articles scientifiques nous indiquent que la clé de voûte de la stabilité demeure le maintien de la forme d'arcade initiale avant et après traitement orthodontique (Little, 1990 ; Burke, 1998 ; Gianelly, 2006 ; Proffit, 2007). Parmi toutes les dimensions caractérisant la forme d'arcade, la distance inter-canines inférieure est celle qui devrait être la moins modifiée pendant le traitement. Ceci est d'autant plus délicat à obtenir que le chevauchement inférieur est important et que nous essayons de traiter le patient sans réaliser d'extraction.

Au niveau de l'arcade inférieure, lors du traitement des cas orthodontiques sans extraction et sans réduction amélaire interproximale, les dents chevauchées peuvent trouver de la place pour s'aligner soit par expansion transversale, soit par expansion antéropostérieure.

Pour une meilleure stabilité suite à un traitement orthodontique sans extraction, la distance inter-canines inférieure devrait être moins modifiée que la distance intermolaires et la longueur d'arcade (Proffit, 2007).

Dans notre étude, nous souhaitons analyser les effets orthodontiques, sur les dimensions de l'arcade inférieure, d'un traitement orthodontique sans extraction. Notre projet de recherche consistera à comparer des modèles d'étude en plâtre mandibulaires, avant et après traitement orthodontique sans extraction. Nous analyserons alors quelle est la dimension la plus affectée lors de la correction du chevauchement au niveau de l'arcade inférieure, la distance inter-canines inférieure devant être la plus stable.



# CHAPITRE DEUX

## 2 RECENSION DES ÉCRITS

## 2. RECENSION DES ÉCRITS

### 2.1 LES MODÈLES D'ÉTUDE ORTHODONTIQUES EN PLÂTRE

#### 2.1.1 *Intérêt*

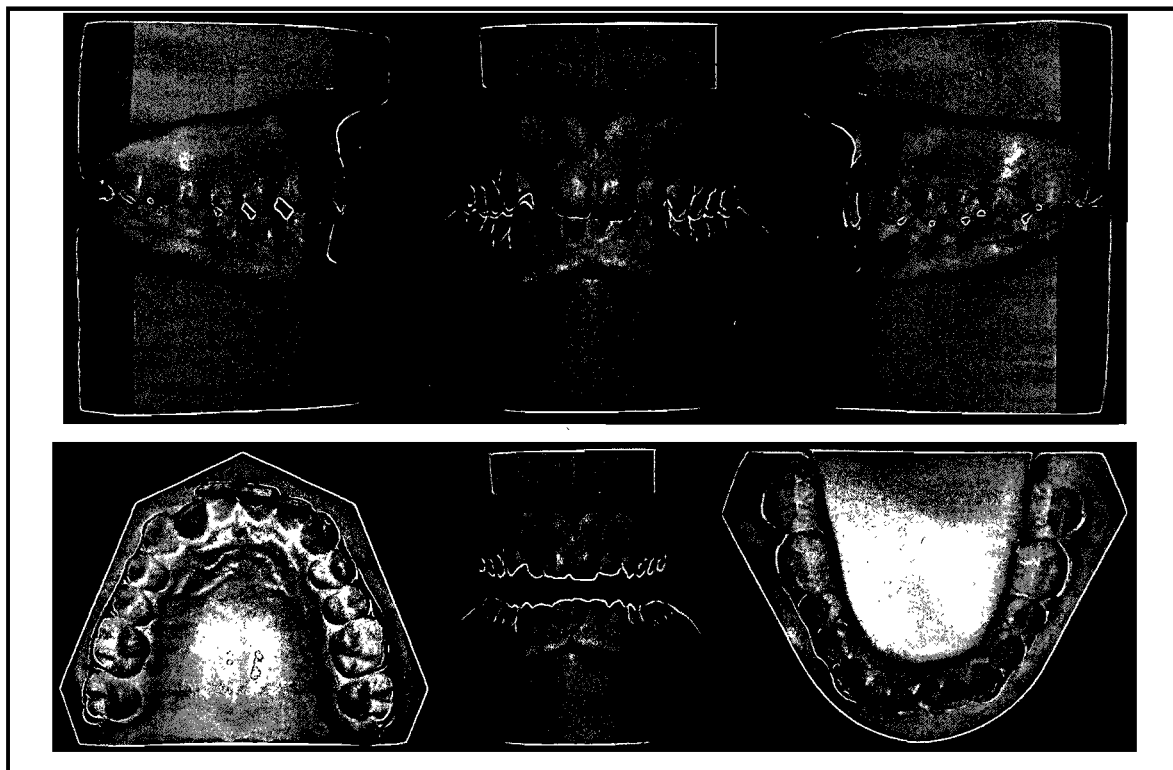
En orthodontie, les modèles d'étude nous apportent une information essentielle non seulement pour le diagnostic, mais aussi pour la planification des traitements. Ils permettent une visualisation aisée, en trois dimensions, de la malocclusion. À l'aide des radiographies céphalométriques et panoramiques, l'orthodontiste peut comparer les informations recueillies lors de l'examen clinique à celles obtenues grâce aux modèles d'étude. Les mesures cliniques telles que la classe de malocclusion, les surplombs horizontal et vertical, les formes d'arcades et les asymétries sont réévalués plus précisément avec les modèles en plâtre (Martel, 2006).

De même, les mesures de longueurs d'arcades, d'espace disponible et de Bolton sont réalisées beaucoup plus facilement et précisément sur les modèles qu'en bouche (Hunter, 1960).

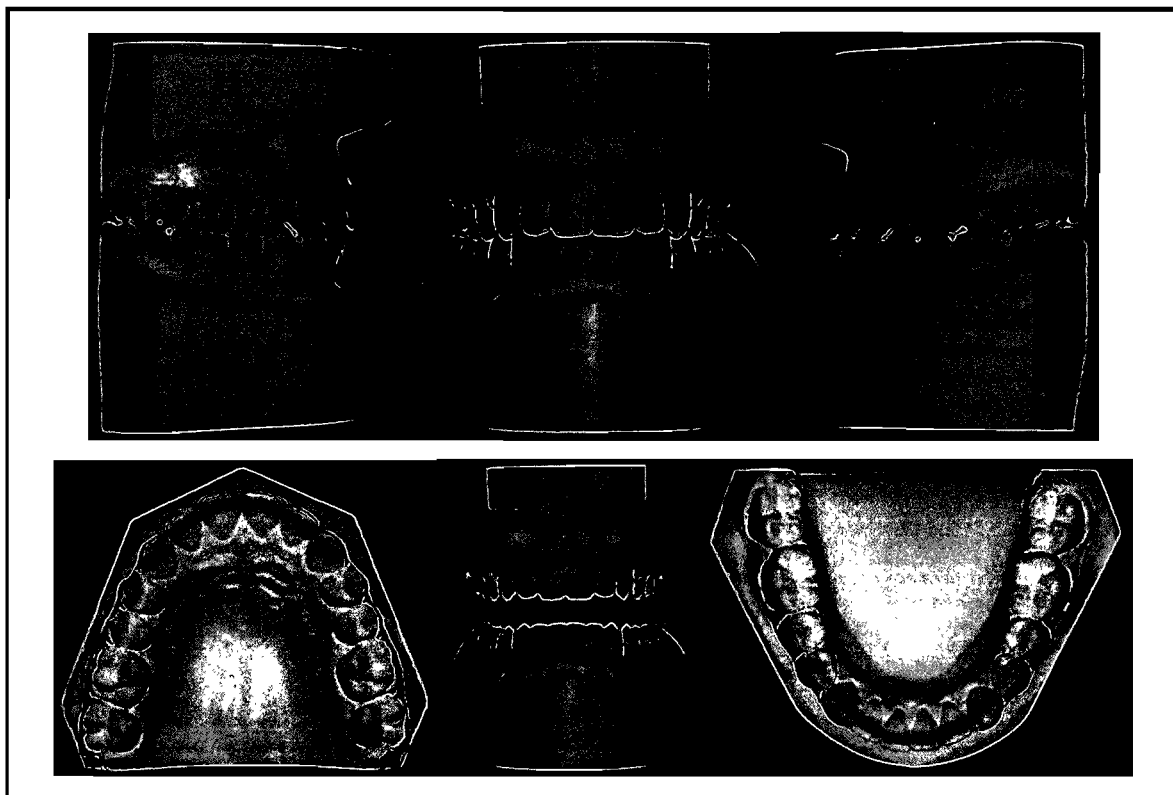
La réalisation de modèles en cours de traitement permet d'évaluer la progression, d'analyser la nouvelle occlusion et de mieux planifier les futurs mouvements orthodontiques et chirurgicaux. De plus, les modèles sont essentiels pour la fabrication d'appareils orthodontiques au début, pendant ou à la fin du traitement.

La réalisation de modèles finaux, après un traitement orthodontique, nous permet aussi d'apprécier les résultats obtenus en comparant l'alignement final avec la malocclusion initiale et d'analyser l'effet de la thérapeutique choisie.

Les modèles d'étude sont également un outil de communication très utile avec les patients ou les confrères (Figures 1 et 2).



*Figure 1 : Modèles d'étude en plâtre pré-traitement.*



*Figure 2 : Modèles d'étude en plâtre post-traitement.*

### 2.1.2 Avantages

Les modèles d'étude en plâtre présentent plusieurs avantages :

- une fabrication pouvant être entièrement réalisée par le personnel au sein même du bureau,
- une disponibilité immédiate pour analyse ou fabrication d'appareils,
- la possibilité de les monter sur articulateurs,
- une manipulation aisée,
- un coût peu élevé.

### 2.1.3 Inconvénients

Cependant, les modèles d'étude en plâtre présentent également certains inconvénients :

- un encombrement nécessitant beaucoup d'espace de stockage,
- un procédé de fabrication en plusieurs étapes avec un temps de manipulation important : prise d'empreinte, coulée, taille et identification,
- une fragilité relative : ils peuvent facilement se casser ou s'ébrécher. La moitié des modèles expédiés par la poste pour le *Dental Practice Board* se fracturent au cours du transport (Harradine, 1990).

Pour améliorer la résistance des modèles, Boersma (1967) présente une technique de fabrication de modèles en résine. Tout d'abord, on prend une empreinte en silicone à partir du modèle original en plâtre. Ensuite, on coule une résine à froid à laquelle on incorpore du plâtre, afin de réduire la contraction de prise et de donner une coloration blanche à l'acrylique. Cependant, cette technique présente quelques problèmes :

- un coût plus élevé dû à l'utilisation de silicone et d'acrylique,
- des manipulations supplémentaires augmentant d'autant plus le coût de fabrication,
- la reproduction des modèles engendrant un manque de précision.

Martin et Mc Ewen (1970) ont cherché à contourner ces problèmes en plongeant les modèles dans une solution d'acrylique ou en utilisant un vaporisateur d'acrylique. Ils ont trouvé que la résistance des modèles était augmentée, tout en conservant une bonne définition, et ce à un coût raisonnable.

Mais toute couche de matériau ajoutée à la surface des modèles est susceptible d'affecter la précision en altérant leur dimension initiale. C'est pourquoi, malgré de multiples tentatives pour reproduire ou remplacer les modèles en plâtre, ces derniers demeurent encore pour les orthodontistes des outils de référence précis et d'un coût relativement peu élevé.

#### 2.1.4 Législation

Au Québec, les modèles orthodontiques pré et post-traitement, ainsi que le dossier clinique complet (incluant les photos et les radios), doivent être conservés au moins cinq ans après la dernière annotation ou insertion dans le dossier du patient.

## 2.2 ANALYSE DES MODÈLES D'ÉTUDE

D'après Graber (2005), les modèles d'étude orthodontiques diffèrent des autres modèles dentaires pour deux raisons principales :

- l'empreinte est étendue à son maximum afin de permettre la visualisation des dents à déplacer et des procès alvéolaires
- les bases sont taillées de façon symétrique, selon les critères spécifiques de l'*American Board of Orthodontics*, pour une meilleure évaluation des positions dentaires, des formes d'arcades et des asymétries.

#### 2.2.1 Analyse qualitative

Les dimensions suivantes nous permettent d'évaluer efficacement l'harmonie des arcades et leur coordination entre elles :

- Analyse des maxillaires :
  - Palais : profondeur, forme, largeur
  - Procès alvéolaires : épaisseur, hauteur, inclinaison, symétrie, aspect parodontal
  - Arcade dentaire : forme générale triangulaire, carrée ou ovoïde
- Analyse dentaire :
  - Anatomie dentaire : forme, dimensions, facettes d'usure, restaurations
  - Absence ou inclusion dentaires (à vérifier avec radiographies)
  - Chevauchement léger, modéré ou sévère
  - Diastèmes
  - Courbes de Spee et de Monson légères, modérées ou sévères
- Analyse inter-arcades : dans les trois plans de l'espace, en évaluant les composantes d'origines dentaires, squelettiques ou les deux.
  - Transversal : articulé croisé et inclinaison axiale des dents
  - Sagittal : intercuspidation des molaires, des prémolaires et des canines, surplomb horizontal
  - Vertical : surplomb vertical (béance antérieure ou recouvrement excessif), hauteur des procès alvéolaires, position verticale des dents

### 2.2.2 Analyse quantitative

L'analyse quantitative complète l'analyse qualitative par l'ajout de mesures. Mais, étant donné l'importance du temps que requiert l'analyse quantitative, l'orthodontiste se limite souvent à l'analyse qualitative.

L'analyse quantitative comprend :

- Surplomb horizontal : distance en millimètres entre la surface labiale des incisives inférieures et le bout incisif des incisives supérieures,
- Surplomb vertical : distance en millimètres de la portion recouverte des incisives inférieures par les incisives supérieures. Distance mesurée en mm

- perpendiculairement au plan occlusal (peut également être exprimée en pourcentage),
- Mesure de la classe d'occlusion au niveau des molaires et des canines,
  - Largeur des dents : mesure mésio-distale de chacune des dents de chaque arcade,
  - Distance inter-canines,
  - Distance inter-molaires,
  - Longueur d'arcade,
  - Évaluation des lignes médianes dentaires entre elles et par rapport à la ligne médiane faciale (déviations mesurées en millimètres).

### 2.2.3 Analyse dento-maxillaire

L'analyse dento-maxillaire ou analyse d'espace permet de quantifier l'excès ou le manque de place à l'intérieur des arcades. Le type de traitement va varier en fonction de la sévérité du chevauchement (ou encombrement) dentaire.

L'analyse d'espace représente la différence entre le montant d'espace disponible pour l'alignement dentaire (qui est fonction du périmètre d'arcade) et le montant d'espace nécessaire (qui est fonction de la largeur mésio-distale des dents).

L'espace disponible est mesuré en divisant l'arcade en six segments (prémolaires, canine, incisives) de la face mésiale de la 36 à la face mésiale de 46. La somme des mesures de ces segments correspond à l'espace disponible.

Le périmètre d'arcade peut aussi être aisément mesuré à l'aide d'un fil de laiton représentant la forme d'arcade, du point de contact mésial de la première molaire à celui de la molaire controlatérale.

L'espace nécessaire est calculé en réalisant la somme des largeurs mésio-distales de chaque dent entre les points de contact.

Si la somme des largeurs mésio-distales des dents est supérieure au montant d'espace disponible, alors un chevauchement dentaire peut survenir. La valeur de la mesure est

alors négative ; une valeur positive indiquerait la présence de diastèmes, c'est-à-dire un excès de place sur l'arcade.

Selon la méthode de Nance, la dysharmonie dento-maxillaire se mesure sur l'arcade inférieure, car cette dernière est moins susceptible aux changements dimensionnels que l'arcade supérieure (Nance, 1941).

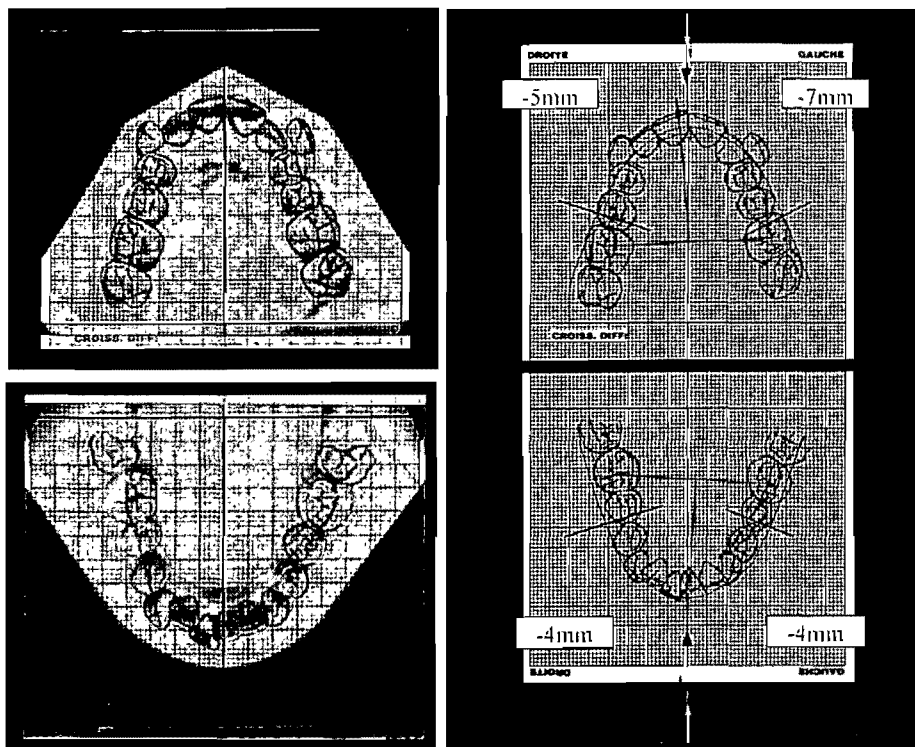
Toutefois, le calcul réel du manque d'espace doit également tenir compte de paramètres importants tels que :

- la courbe de Spee : courbure de l'arcade mandibulaire dans le plan sagittal, des incisives jusqu'aux molaires,
- la courbe de Monson : courbure de l'arcade maxillaire dans le plan frontal, déterminée par l'inclinaison des molaires maxillaires,
- la courbe de Wilson : courbure de l'arcade mandibulaire dans le plan frontal, déterminée par l'inclinaison des molaires mandibulaires,
- les formes d'arcades en vue occlusale,
- l'inclinaison axiale des incisives,
- la croissance résiduelle.

#### 2.2.4 Occlusogramme

L'occlusogramme est une méthode développée par Burstone (1967), qui permet d'étudier, d'évaluer et de quantifier les problèmes d'espaces à partir d'une image photographique (polaroïd) en vue occlusale et en deux dimensions des arcades dentaires. C'est une représentation graphique de la position des dents des deux maxillaires projetée sur le plan occlusal (Figure 3).





*Figure 3 : Photographies polaroïd des modèles et tracé de l'occlusogramme.*

L'occlusogramme permet de comparer la malocclusion actuelle à l'occlusion prévue post-traitement et ainsi d'analyser et de discuter des diverses possibilités de traitement. Les décisions prises lors du choix du plan de traitement sont fondées sur une étude relativement précise qui permet de diminuer les risques d'erreurs (Remise, 2006).

La technique de l'occlusogramme est intéressante dans le cadre de notre projet, car les courbes de traitement sont basées sur la forme d'arcade inférieure présente avant le traitement orthodontique ; la forme d'arcade supérieure étant construite par rapport à la forme d'arcade inférieure. La forme d'arcade des points de contacts supérieurs est identique à la forme d'arcade des pointes des cuspides inférieures.

L'occlusogramme permet donc de développer une forme d'arcade naturelle, idéale et individualisée.

En 1976, Marcotte décrit la technique de l'occlusogramme développée par Burstone. Il propose l'utilisation conjointe de l'occlusogramme et du céphalogramme latéral pour une analyse dans les trois plans de l'espace.

#### *2.2.4.1 Avantages*

L'occlusogramme représente une aide importante pour la reconnaissance des différents problèmes existant sur les arcades puisqu'il permet l'identification des points suivants :

- les différentes formes d'arcades,
- la relation des lignes médianes,
- les malpositions dentaires dans les sens transversal et antéropostérieur,
- les rotations dentaires,
- les asymétries dentaires et osseuses.

Il permet également de faciliter la planification du traitement orthodontique en déterminant :

- la longueur et la largeur d'arcade finale,
- les besoins au niveau de l'ancrage,
- les dents à extraire, si nécessaire,
- la relation occlusale finale entre les arcades.

#### *2.2.4.2 Inconvénients*

La méthode manuelle de l'occlusogramme, telle que décrite par Burstone (1967), demeure la méthode de référence. Toutefois elle comporte certains inconvénients qui pourraient être évités grâce à un outil informatique adapté. Malheureusement aucune technique informatisée aussi fiable que la méthode manuelle n'existe encore à ce jour.

En effet, d'une part la méthode manuelle est relativement longue et fastidieuse, ce qui dissuade de nombreux orthodontistes de la réaliser. D'autre part, la réalisation des diverses étapes manuelles pourraient rendre la méthode relativement imprécise si l'opérateur les réalise trop précipitamment.

Il est probable, qu'un jour, l'utilisation de l'outil informatique permettra à la fois un gain de temps et de précision dans la technique de l'occlusogramme (Martel, 2006).

#### *2.2.4.3 Analyse d'espace*

L'occlusogramme permet de calculer le manque ou l'excès d'espace pour chacun des quadrants.

Mais l'analyse d'espace est influencée par la dimension de la forme d'arcade et par une éventuelle expansion orthodontique augmentant le périmètre d'arcade (Germane, 1991).

#### *2.2.4.4 Détermination du besoin d'extraire ou non*

Plusieurs critères doivent être considérés et bien évalués afin de décider s'il est nécessaire d'extraire des dents. De façon générale, l'orthodontiste est guidé par les mêmes trois objectifs : esthétique dento-faciale, fonction et stabilité.

Si des extractions sont indiquées, on réaligne les dents, exception faite de celles à extraire, et on calcule à nouveau le manque ou l'excès d'espace. S'il existe un excès, on peut alors savoir précisément la quantité de mésialisation à effectuer pour les dents postérieures. Si un manque d'espace persiste, on sait alors qu'il faut gagner de la place par des moyens additionnels tels que la distalisation des molaires, l'expansion ou la réduction interproximale.

Ces données nous informent également sur le besoin d'ancrage, qui est un élément important dans le plan de traitement.

#### *2.2.4.5 Transpositions des mouvements sur le tracé céphalométrique*

Afin de planifier les mouvements dans les trois plans de l'espace, on reporte sur la radiographie céphalométrique latérale les mouvements dentaires réalisés avec l'occlusogramme. Les mesures devraient être similaires entre l'occlusogramme et le tracé

céphalométrie et devraient nous permettre d'apprécier les effets de la thérapeutique sur les structures osseuses et les tissus mous.

### 2.2.5 Analyse dento-dentaire

La dysharmonie dento-dentaire est souvent évaluée par l'analyse de Bolton. Cette analyse permet de calculer un excès ou un manque de masse dentaire supérieure ou inférieure. Elle se calcule sur l'ensemble des douze dents de l'arcade (ratio général) ou bien seulement pour les six dents antérieures (ratio antérieur) (Bolton, 1958 ; Bolton, 1962).

Selon Lavelle (1972), la dysharmonie dento-dentaire, surtout dans le secteur antérieur, joue un rôle important dans l'étiologie des malocclusions.

Pour Stewart (1979) et Enlow (1993), les dimensions dentaires sont contrôlées par des facteurs génétiques et environnementaux, mais il est très difficile de pouvoir identifier le rôle de chacune des variables dans la détermination des dimensions dentaires.

Toutefois, il est admis que la largeur des dents est différente en fonction du sexe. En effet, Lavelle (1973) montre une différence de largeur entre les deux sexes plus importante en dentition permanente qu'en dentition primaire.

Pour Garn (1967) et Beresford (1969), la largeur des dents des hommes est en moyenne plus large que celle des dents des femmes.

Ce sont les incisives centrales et les canines supérieures qui présentent les plus grandes différences entre les deux sexes (Doris, 1981), tandis que les incisives latérales supérieures et les incisives centrales inférieures sont les plus homogènes (Potter, 1972).

En revanche, il n'existe pas de consensus concernant les différences de dimensions dentaires entre les sexes et les disharmonies entre les dents supérieures et inférieures. En effet, Lavelle (1972) a montré une différence, tandis que Richardson et Malhotra (1975) n'ont rapporté aucune différence significative pour les disharmonies de proportion entre les dents supérieures et inférieures, indiquant un ratio constant de 77% pour les deux sexes.

Nie (1999) et Smith (2000) ne rapportent également aucune différence significative concernant l'analyse dento-dentaire entre les deux sexes.

De nombreux auteurs ont montré l'importance d'obtenir une harmonie des proportions entre les dents supérieures et inférieures.

Pour Gilpatric (1923) et Stanton (1928), il doit y avoir une harmonie entre les dents des deux arcades. Stanton base son étude sur 2000 individus et montre que les dents supérieures devraient être 8 à 12 mm plus larges que les inférieures ; cette valeur augmentant proportionnellement au surplomb horizontal.

En 1954, Lundström définit l'*index antérieur*. Pour un surplomb vertical idéal, le ratio entre la somme des dents antérieures inférieures et la somme des dents antérieures supérieures doit être de 75 à 85%, avec une valeur moyenne de 79%.

Pour son analyse, Bolton (1958 ; 1962) se base sur l'étude de 55 cas avec une très bonne occlusion. Il détermine alors un ratio idéal antérieur avec une moyenne de 77,2%, en comparant la largeur mésio-distale de canine à canine au niveau maxillaire et mandibulaire. Le ratio général des douze dents est de 91,3%. Selon lui, il est très difficile d'obtenir une occlusion satisfaisante lors de la phase de finition d'un traitement orthodontique, sans un ratio mésio-distal correct. En pratique, cliniquement, le ratio antérieur est plus utilisé que le ratio général.

Faisant suite aux articles publiés par Bolton, de nombreuses études sur les disharmonies dento-dentaires ont utilisé l'analyse de Bolton comme outil diagnostique.

Certains auteurs ont malgré tout tenté d'identifier d'autres variables jugées importantes pour l'obtention d'une occlusion idéale. Des variables comme l'inclinaison des incisives, l'épaisseur bucco-linguale des incisives supérieures et la forme des arcades ont été étudiées. On a également cherché à adapter l'analyse de Bolton à ces variables.

De nouvelles méthodes ont été rapportées dans les écrits scientifiques pour étudier et évaluer les dysharmonies dento-dentaires. Mais ces méthodes ont été peu testées dans des études cliniques, c'est pourquoi l'analyse de Bolton reste encore la méthode de choix pour estimer ce type de dysharmonie (Araujo, 2002).

### *2.2.6 Instruments de mesure*

Différents instruments peuvent être utilisés pour enregistrer les mesures sur les modèles en plâtre. Ces instruments peuvent être un compas à pointes sèches et une règle, ou bien un pied à coulisse ou vernier (du nom de l'inventeur) qui peut être analogique ou numérique.

#### *2.2.6.1 Compas à pointes sèches et règle graduée*

Cette technique de mesure a longtemps été utilisée en orthodontie en raison de sa simplicité et de sa facilité d'utilisation.

Bien qu'elle offre une précision suffisante pour la prise de mesures entre deux points comme la distance inter-canines, elle devient cependant moins précise lorsqu'elle est utilisée pour l'addition de plusieurs mesures telle que la somme des largeurs mésio-distales des dents.

En effet, Hunter (1959) a démontré que l'utilisation de cette technique donnait des largeurs dentaires en moyenne plus larges que le pied à coulisse. Ceci s'explique par le fait que les pointes coniques du compas touchent les points de contact des dents plutôt

sur les parois internes que sur les véritables pointes. Cette erreur est incluse dans les mesures reportées sur la règle, où la distance est prise entre les pointes et non entre les parois internes. Cette erreur systématique représente en moyenne une augmentation de 0,1 mm par dent.

### 2.2.6.2 Pied à coulisse ou vernier

Le pied à coulisse (vernier) est probablement l'instrument de choix pour les prises de mesures directement sur modèles en plâtre ; il se présente sous deux formes : en versions analogique et numérique. Aujourd'hui, le vernier numérique est le plus utilisé du fait de sa grande précision (0,01 mm) et de sa rapidité pour afficher les mesures (Figure 4).



Figure 4 : Pied à coulisse (vernier) électronique ou numérique.

Le vernier électronique peut également être connecté à un ordinateur qui enregistre chacune des mesures. Un logiciel peut alors traiter ces mesures afin de produire une analyse des largeurs dentaires. Cette technique particulière appelée GATWD (Graphical Analysis of Tooth-Width Discrepancy) se veut, selon les deux auteurs qui l'ont développée, une méthode plus élaborée et plus précise que les méthodes traditionnelles. Leur logiciel permettrait de calculer des ratios de largeurs dentaires et de montrer l'excès de largeur, dent par dent ou sous forme de graphique (Ho et Freer, 1999).

## 2.3 ALTERNATIVES AUX MODÈLES EN PLÂTRE

### 2.3.1 Analyse des modèles en vision 2D

Divers procédés ont été mis au point afin de remplacer les modèles en plâtre encombrants et d'obtenir une vue en deux dimensions des modèles, la plupart du temps en vue occlusale. Certains de ces procédés, simples et précis, sont encore utilisés aujourd'hui et sont brièvement expliqués dans cette section.

#### 2.3.1.1 *Pantographe dentaire*

C'est un appareil complexe qui permet de reproduire les modèles en vue occlusale avec une grande précision dans un rapport 1/1. Pour analyser l'occlusion, on peut superposer les tracés supérieurs et inférieurs. Mais son *design* et sa complexité de manipulation en font une technique peu utilisée (Stanton, 1931).

#### 2.3.1.2 *Traceur occlusal*

White (1982) utilise un traceur occlusal pour la réalisation des occlusogrammes. Pour lui, cette technique est simple, précise et peu coûteuse. Il s'agit d'une mince plaque de plastique transparente de 1/8<sup>ème</sup> de pouce, stabilisée contre la face occlusale des dents, permettant la réalisation rapide d'un tracé dans un rapport 1/1. White indique tout de même qu'avec la numérisation, cette technique va bientôt devenir obsolète.

#### 2.3.1.3 *Photocopie des modèles*

Le photocopieur a très souvent été utilisé afin d'obtenir une image précise des modèles dentaires en vue occlusale. Toutefois sa précision n'a pas été démontrée et de nombreuses controverses existent quant à sa capacité à fournir une image avec un rapport 1/1. Selon les études, on trouve un facteur de grossissement ou de réduction de l'image avec un photocopieur. Mais cette différence serait très faible et donc cliniquement non significative (Singh, 1964).



White (1982) indique que les images obtenues sont claires, mais trop imprécises pour une application clinique. En effet le facteur de grossissement des photocopieurs peut atteindre 10%, et ce pourcentage est très variable d'un appareil à l'autre.

Pour Schirmer (1997), il existe d'importantes différences quant à la mesure de la longueur d'arcade, ce qui rend le photocopieur inefficace pour la réalisation d'une analyse d'espace précise. Les mesures sur les modèles en plâtre sont plus grandes de 4,7 mm au niveau maxillaire et de 3,1 mm au niveau mandibulaire.

De son côté, Noroozi (2001) valide l'utilisation du photocopieur pour réaliser une analyse d'espace. Pour cela, il mesure une règle de 100 mm photocopiée avec chaque image de modèles. Il trouve une augmentation moyenne de largeur de 4 %, ce qui est cliniquement non significatif. Le facteur de grossissement obtenu ici est nettement inférieur aux autres études ; ceci provient certainement du fait que l'objet photocopié ici est en 2D et non en 3D.

Plusieurs facteurs sont en cause dans la difficulté d'obtenir des mesures précises d'un modèle dentaire en 3D à partir d'une image photocopiée en 2D :

- la convexité des structures dentaires,
- la courbe de Spee,
- la différence dans les inclinaisons dentaires,
- la déviation de l'axe des dents par rapport à l'axe perpendiculaire,
- les malpositions dentaires ou chevauchement.

C'est pourquoi, Visessaksanti (1998) conclue que la photocopie des modèles est imprécise pour le calcul de l'analyse d'espace.

Santoro (2003) trouve aussi que la technique du photocopieur est imprécise et ne permet que l'obtention d'une image en 2D d'un objet en 3D.

On remarque également que les systèmes optiques des photocopieurs peuvent être très différents d'un appareil à l'autre. Leurs objectifs à longueur focale variable génèrent une

distorsion liée à l'effet de perspective, lors de la photocopie d'objets tridimensionnels, et sont difficiles à étalonner.

Mais la photocopie des modèles en plâtre peut éventuellement servir à vérifier la progression d'un traitement orthodontique dans son ensemble ou encore à communiquer entre confrères, bien que la photographie soit plus utilisée.

Grâce à l'outil informatique, De La Cruz évalue de manière distincte la forme et les dimensions de l'arcade dentaire, mais utilise pour son étude une photocopie des modèles. Il reconnaît une possible distorsion de l'image lors de la photocopie des modèles. Il souligne que l'utilisation standardisée d'une caméra photographique avec une grande distance focale permettrait sans doute une meilleure reproduction des modèles et l'obtention de données plus précises (De La Cruz, 1995).

#### *2.3.1.4 Photographie des modèles*

Certaines techniques photographiques permettent l'obtention d'images avec un rapport 1/1.

En effet, Burstone (1967) a développé une caméra pour occlusogramme. Il utilise un *box camera 4" x 5"* (appareil grand format 10 x 12,5 cm) composé d'une plate-forme pour supporter le modèle en plâtre, d'une source de lumière et d'un écran de plexiglas. Un objectif de 210 mm permet de produire un rapport de grossissement 1/1, et un adaptateur pour film polaroid permet le développement instantané de la photographie (Figure 5).



*Figure 5 : Système photographique pour occlusogramme  
utilisé à l'Université de Montréal.*

En 1976, Marcotte montre que cette technique est précise et qu'elle permet une bonne planification du traitement orthodontique.

Le système fournit une image dans un rapport 1/1, mais l'objectif utilisé avec cet appareil produit également une déformation liée à la perspective. En effet, le choix d'une longueur focale de 210 mm se rapprochant davantage d'un objectif télécentrique que d'un objectif grand angulaire permet d'atténuer cette déformation ; mais l'angle de prise de vue de  $33,6^\circ$  est suffisant pour générer une légère déformation due à l'effet de perspective (Burstone, 2000).

### *2.3.1.5 Scanneur à plat*

#### *2.3.1.5.1 Définition*

Le scanneur est un appareil qui nous permet, en examinant un document, une image ou moins fréquemment un objet 3D, d'obtenir des « informations » exploitables par ordinateur.

Le scanner est directement connecté à l'ordinateur. Ainsi l'image analogique est convertie en image numérique.

En outre, on compare toujours la qualité visuelle d'une image numérique à celle couramment obtenue par la voie traditionnelle. En effet, on dit de l'image finale qu'elle atteint la qualité photo quand elle pourrait être confondue avec un excellent tirage argentique.

Il existe différents types de scanner mais le plus simple, le plus moderne et le plus utilisé est le scanner à plat. Le terme « à plat » signifie que l'original à numériser est monté sur une surface vitrée plane (Bouillot, 2003).

#### ***2.3.1.5.2 Numérisation d'objet 2D***

En orthodontie, le scanner est surtout utilisé pour numériser les radiographies céphalométriques dans le cadre des analyses céphalométriques informatiques et de simulation chirurgicale. De nombreuses études ont été réalisées visant à montrer la précision et la rapidité d'utilisation de tels systèmes.

Un programme d'occlusogramme assisté par ordinateur a été développé par Burstone (1979). À partir de l'image photographique du modèle en vue occlusale, il numérise des points spécifiques tels que :

- les points de contact mésial et distal de chaque dent,
- les pointes des cuspides buccales des dents inférieures,
- les pointes des cuspides linguales des dents supérieures.

L'ordinateur dessine les dents qui sont en fait une représentation schématique des arcades dentaires.

Le but du programme est d'aider et d'assister l'orthodontiste dans les analyses de cas, la planification des traitements et l'exécution de ceux-ci. Ce programme l'aide à :

- décider, par des simulations, si le cas nécessite des extractions,

- évaluer le type d'ancrage,
- déterminer la forme d'arcade idéale pour chaque patient.

Burstone (1979) indique que bien qu'étant une analyse faite à partir d'une image de l'occlusion en 2D, l'occlusogramme a une grande valeur diagnostique car la plupart de nos décisions de traitement sont dans le plan occlusal. Mais il est tout de même nécessaire de rapporter cette analyse en 3D, et ce à l'aide de l'analyse du céphalogramme latéral qui permet de déterminer le profil facial désiré ainsi que le positionnement final des dents.

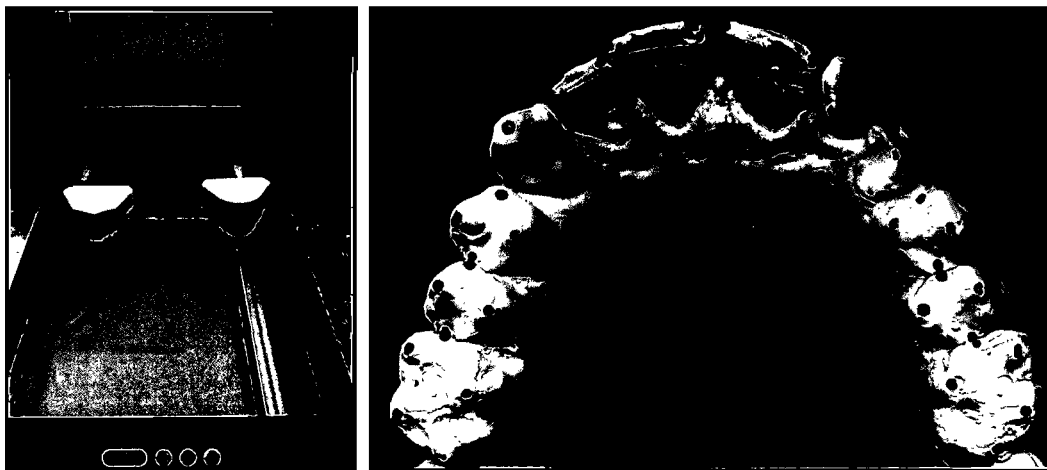
La combinaison de ces deux analyses permet une planification dans les trois plans de l'espace (Burstone, 1979).

En 1991, Yen met au point une technique d'analyse d'espace qu'il qualifie de simple, rapide et précise. Il numérise des points de référence à partir de la photocopie des modèles et du programme informatique qu'il a développé. Il calcule ainsi le Bolton et le manque d'espace. Mais le fait qu'il utilise une photocopie des modèles et connaissant la grande variabilité du grossissement d'un appareil à l'autre, on peut mettre en doute la réelle précision de son système.

Toutefois, Yen mentionne que les mesures directes d'un objet en 3D sont une grande source d'erreur et de variabilité, et que la mesure de cet objet en vue bidimensionnelle est plus précise. Cette ligne de pensée est plutôt à l'inverse de ce qui ressort des écrits scientifiques, la prise de mesures directement sur les modèles en 3D étant encore la référence la plus fiable et la plus précise (Martel, 2006).

#### ***2.3.1.5.3 Numérisation d'objet 3D***

En orthodontie, la numérisation des modèles en plâtre à l'aide du scanner présente un grand intérêt, car l'image obtenue est immédiatement disponible pour le traitement par ordinateur (Figure 6).

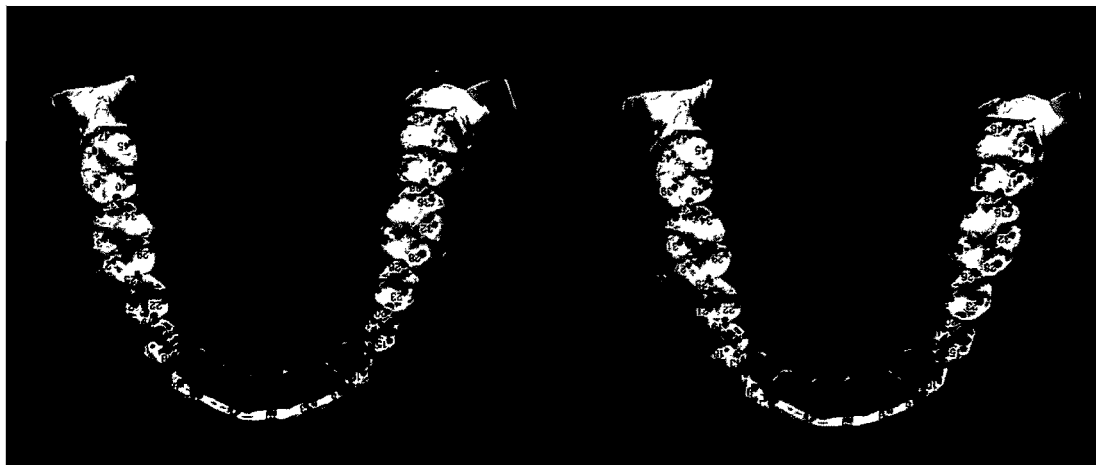


*Figure 6 : Disposition des modèles sur la vitre du scanner et type d'image obtenue après numérisation.*

En 1999, Fiorelli publie un article où il décrit son logiciel permettant de réaliser un occlusogramme en trois dimensions. Ce logiciel nommé « 3-D occlusogramme » (3-DO) a été développé à partir de l'image numérique de modèles en vue occlusale obtenue à partir d'un scanner à plat et de la radiographie céphalométrique latérale numérisée avec le même appareil. La combinaison de l'image des modèles et de la radiographie céphalométrique permet une analyse en 3D, telle que précédemment suggérée par Burstone (1979).

De plus, Fiorelli affirme qu'un scanner à plat est un outil très précis pour mesurer les dimensions dentaires. Son logiciel permet la réalisation des analyses d'espace, l'étude des déplacements dentaires dans les trois plans de l'espace et la détermination de la forme d'arcade de traitement. Le logiciel permet d'effectuer différentes simulations aidant l'orthodontiste dans la prise de décision pour son plan de traitement final.

Toutefois Fiorelli ne donne aucune spécification concernant l'utilisation du scanner. Il recommande seulement de ne pas rogner l'image. Or la position du modèle sur la vitre de l'appareil a une influence importante sur la déformation de l'image (Figure 7).



*Figure 7 : Le même modèle numérisé à deux endroits différents sur la vitre du scanner.*

Le logiciel Quick Ceph 2000 (Quick Ceph Systems Inc., San Diego, CA, USA) permet également la réalisation d'une analyse d'espace à partir de la numérisation d'un modèle en vue occlusale obtenue à l'aide d'un scanner à plat.

Encore ici, on ne semble pas tenir compte de l'effet de déformation de l'appareil. La seule mention à propos de l'étalonnage est celle-ci : choisir une résolution de 288 dpi et dimensionner le cadre de sélection à 1200 x 1200 pixels. Le fournisseur mentionne également de ne pas redimensionner ou rogner l'image, car cela affecte la précision.

Nous savons qu'il existe une déformation progressive du centre vers les côtés d'un scanner. Mais le responsable du logiciel de la compagnie Quick Ceph estime qu'il serait possible de placer le modèle n'importe où sur la vitre, tant que le cadre de sélection et la résolution restent les mêmes. Cette réponse confirme un manque de connaissance certain concernant le fonctionnement d'un scanner (Martel, 2006).

Mais, comme le reconnaît le responsable du développement technique de Quick Ceph, l'utilisation du scanner pour l'analyse d'espace est le point faible de leur système (Martel, 2006).

Le logiciel Quick Ceph permet de déterminer les formes d'arcades de traitement, de faire une analyse d'espace, de calculer le Bolton ainsi que l'index d'irrégularité. Mais, comme pour le logiciel de Fiorelli, il n'existe aucune étude validant la précision de cette méthode d'analyse d'espace.

En 2001, Tomassetti évalue la précision d'une analyse d'espace réalisée avec le logiciel Quick Ceph. Mais dans son étude, l'image du modèle est obtenue à partir d'une caméra numérique et non d'un scanner.

#### ***2.3.1.5.4 Vision stéréoscopique***

Le scanner à plat a été conçu initialement pour traiter des objets plats (en deux dimensions) tels que des documents écrits, des photographies et même des radiographies. Mais ses propriétés optiques permettent également la numérisation, avec une très grande netteté, d'objets 3D.

À partir des caractéristiques optiques propres au scanner à plat, il est possible d'obtenir une information 3D à partir d'images 2D.

L'utilisation des principes de la vision stéréoscopique a donc pour but d'obtenir plus d'informations et davantage de précision lors de l'analyse des modèles orthodontiques.

L'effet de parallaxe est l'incidence du changement de position de l'observateur sur l'observation d'un objet. En photographiant une scène avec une prise de vue à axe oblique, on obtient une vue perspective de la zone représentée.

Les principes sont ceux de la vision stéréoscopique naturelle appliqués au domaine de l'informatique. En effet, l'humain, grâce à la vision binoculaire (les deux yeux sont séparés par une certaine distance) peut donner une profondeur aux objets qu'il voit.

En vision artificielle, l'obtention d'une image en 3D d'un objet ou d'une scène se fait à partir de deux caméras séparées d'une certaine distance équivalente à celle séparant nos deux yeux et qui enregistrent l'image selon deux prises de vue différentes. On peut



obtenir le même effet en utilisant une seule caméra qui demeure fixe et en déplaçant l'objet d'une distance déterminée.

Dans le domaine de l'orthodontie, la précision des mesures recueillies a une grande importance pour l'analyse, le diagnostic et le plan de traitement. L'image en deux dimensions d'un modèle orthodontique ne nous fournit que des informations partielles. La position d'un point donné sur un modèle 2D nous éclaire seulement sur ses coordonnées  $x$  et  $y$ . En ajoutant la 3e dimension, on obtient une nouvelle coordonnée ( $z$ ) qui nous informe sur la position réelle, donc plus précise, de ce point dans l'espace.

La netteté des objets au-dessus de la surface vitrée est déterminée par la profondeur de champ de la caméra du scanneur. Sachant que toutes les structures qui nous intéressent sont situées à l'intérieur d'une distance de 3 cm, donc à l'intérieur de la profondeur de champ de la plupart des scanneurs à plat grand public, les modèles orthodontiques peuvent donc être numérisés avec une très bonne netteté. Mais le consommateur est peu intéressé par cette donnée, c'est pourquoi les manufacturiers n'inscrivent jamais la profondeur de champ dans les caractéristiques de leurs appareils. Néanmoins, il est toujours possible de vérifier la profondeur de champ de l'appareil en scannant une règle opaque à angle et à hauteur connue.

L'obtention d'informations 3D à partir d'informations 2D recueillies à l'aide d'un scanneur à plat se fait en trois étapes : l'étalonnage de la caméra, la mise en correspondance et la triangulation.

Mais la correspondance est toujours très difficile à établir à cause du problème d'*occlusion*. Il est à noter que le terme *occlusion* en vision 3D a un sens totalement différent de celui utilisé en médecine dentaire.

En effet, certains points d'arêtes peuvent être détectés dans une image et pas dans l'autre, lorsque le point 3D correspondant n'est pas visible. On retrouve ce problème d'*occlusion* lors de la localisation d'un point de contact sur une dent fortement inclinée.

En outre, la précision des résultats est directement proportionnelle à la distance entre les deux images. En fait, plus la distance est grande, plus la méthode de calcul est précise mais plus on augmente les problèmes d'*occlusion*.

Cette voie de recherche, initiée par Martel en 2006, a déjà fourni des conclusions encourageantes et mériterait d'être approfondie par d'autres études.

### *2.3.1.6 Stéréophotogrammétrie*

La stéréophotogrammétrie a également comme principe de base celui de la vision binoculaire (stéréoscopique). Deux photographies du même objet, prises selon deux positions légèrement séparées, peuvent être visualisées de manière à donner une surface tridimensionnelle.

La stéréophotogrammétrie permet le recueil de mesures précises d'objets, à partir de la mise en correspondance de deux photographies.

Au début du 15<sup>ème</sup> siècle, le phénomène de la stéréoscopie avait déjà été relevé par Léonard de Vinci qui étudiait la vision humaine pour parfaire ses peintures (Berkowitz, 1968).

En 1832, Wheastone superpose ses dessins afin de créer une impression de relief.

En 1901, le premier stéréocomparateur est inventé par Pulfrich. Cet appareil permet, à partir de deux photographies d'un même objet, prises sous des angles légèrement différents, de mesurer la grandeur réelle de l'objet. Pulfrich est depuis ce jour considéré comme le père de la stéréophotogrammétrie.

Dans les années 50, la stéréophotogrammétrie analogique est remplacée par la stéréophotogrammétrie analytique, utilisant les calculs matriciels. Aujourd'hui, la stéréophotogrammétrie est entièrement numérique (Meydenbauer, 2001).

En 1922, Mansbach montre l'utilité de la stéréophotogrammétrie dans l'étude des modèles orthodontiques.

En 1968, Berkowitz étudie des modèles de patients atteints de fentes labio-palatines et de la séquence de Pierre-Robin. La stéréophotogrammétrie lui permet de suivre et quantifier de manière précise les changements engendrés par les traitements qu'ont reçus ces patients.

Puis, en 1971, Berkowitz utilise à nouveau le stéréographe pour mesurer les changements morphologiques des arcades dentaires de patients atteints de fentes labio-palatines et du syndrome d'Apert. Il considère la stéréophotogrammétrie suffisamment précise et l'utilise pour mesurer les changements dans les trois dimensions.

En 1997, Ayoub développe un système d'acquisition de données 3D basé sur la stéréophotogrammétrie. Il utilise deux images du même modèle avec des éclairages différents, à l'aide de deux caméras vidéo reliées à un ordinateur. La première paire d'images est réalisée sous éclairage vertical et la seconde en projetant une texture ou des motifs. Les reliefs ainsi créés permettent une reconstruction en trois dimensions des modèles dentaires. Il veut ainsi montrer la fiabilité de cette technique pour produire des modèles 3D peu coûteux et facilement utilisables en bureau. Aucune analyse de précision n'a été réalisée, mais l'auteur mentionne que, d'après d'anciennes expérimentations, son système offre une précision d'environ 0,2 mm. Cependant, lorsqu'on regarde le type d'image obtenu avec cette technique, la réelle précision du système semble discutable.

Lindqvist (1997) développe également son système de stéréophotogrammétrie et publie une étude sur la précision de celui-ci. Il photographie des modèles orthodontiques selon deux perspectives différentes et, par la méthode de triangulation, mesure des distances et des angles à partir de coordonnées 3D extraites de ces images. L'erreur moyenne pour la mesure des distances se situe entre -0,17 mm et +0,15 mm. L'erreur moyenne pour les mesures angulaires se situe entre -0,5 ° et +1,5 °.

Lindqvist conclut que son système est suffisamment précis pour des applications cliniques et scientifiques, mais qu'il nécessite de nombreuses étapes toutes susceptibles d'incorporer des erreurs, avant d'obtenir un modèle 3D exploitable. C'est pourquoi, son utilisation au quotidien lui semble peu probable.

En 1998, Dirksen utilise une technique appelée « profilométrie » utilisant un système de caméras qui projette des bandes claires et sombres sur le modèle. C'est une technique dérivée de celle d'Ayoub pour reconstruire un modèle numérique en 3D. Ces bandes subissent une déformation en fonction du profil de surface du modèle. Des coordonnées 3D peuvent alors être extraites suivant le principe de la triangulation. Après l'extraction de 150 000 points, l'ordinateur reconstruit un modèle virtuel.

Mais le traitement d'un aussi grand nombre de coordonnées 3D nécessite un matériel complexe et onéreux. Le système permet alors de reconstruire un modèle assez simpliste mais contenant toutes les informations nécessaires à son analyse. La précision du système, évaluée entre 50 et 200  $\mu\text{m}$ , dépend surtout de l'angle entre les caméras (angle de triangulation).

Selon l'auteur, cette technique pourrait offrir une alternative intéressante pour l'analyse en trois dimensions des modèles orthodontiques (Dirksen, 1998).

### 2.3.2 Analyse des modèles en vision 3D

#### *2.3.2.1 Hologramme*

La technique holographique permet la production d'une image pouvant être vue en trois dimensions. Les principes physiques de l'holographie sont très différents de ceux de la photographie, mais le procédé est malgré tout très similaire. Pour les deux techniques, on retrouve : une caméra, un système de développement et un système de visualisation de l'image.

En 1963, en Union Soviétique, Denisyuk développe des systèmes holographiques basés sur les principes de la réflexion simple, pouvant être utilisés en orthodontie (Denisyuk, 1963).

Mais Keating (1983) et Buschang (1990) rapportent un grand nombre d'erreurs aléatoires dans les images holographiques comparativement aux modèles. Certaines mesures, comme la distance inter-canines, sont imprécises. On remarque également des élongations au niveau des cuspides. Les auteurs concluent que la technique doit être améliorée afin d'obtenir plus de précision.

En 1992, Martensson utilise une technique holographique avec laquelle il obtient des résultats plus précis. Il conclut alors que l'utilisation des hologrammes est réaliste en orthodontie.

Mais l'appareillage est relativement complexe et son utilisation nécessite des connaissances approfondies en holographie, ce qui explique l'utilisation très marginale de cette technique en orthodontie.

### *2.3.2.2 Reflex Metrograph*

En 1981, Scott développe le *Reflex Metrograph*. Il place un modèle en plâtre devant un miroir semi-réfléchissant et observe son image derrière le miroir. Un système informatique permet de prendre les coordonnées 3D de différents points. Ces coordonnées peuvent être acheminées directement à un microprocesseur pour donner des mesures et pour faire des analyses.

Puis Butcher (1981) évalue la précision de l'appareillage en l'utilisant directement en bouche pour la mesure des dents antérieures.

Takada (1983) a aussi évalué le *Reflex Metrograph* en mesurant les dents directement sur des modèles en plâtre.

Les deux dernières études concluent que le *Reflex Metrograph* est un appareillage d'une excellente précision très prometteur en orthodontie.

### 2.3.2.3 *Microscope*

En 1987, Bhatia étudie la précision des mesures 3D d'un microscope développé par le *King's College School of Medicine and Dentistry*, à Londres.

Il conclut que cet appareillage, permettant l'enregistrement de coordonnées x, y, z sur un modèle en plâtre, offre une très grande précision. Mais il note que le microscope a comme principal inconvénient une procédure très longue. Selon lui, seule la motorisation du microscope contrôlée par ordinateur permettra son utilisation future en orthodontie.

### 2.3.2.4 *Laser*

L'utilisation du laser en orthodontie a permis de créer de véritables modèles en trois dimensions.

Plusieurs compagnies, dont Emodel (GeoDigm Corp., Chanhassen, MN, USA) et Orthocad (Cadent Inc., Carlstadt, NJ, USA), offrent un service de production de modèles 3D en se basant sur des technologies différentes.

Emodel a été créée en 1997. Son procédé utilise un laser classique basé sur le principe de la « lumière structurée ». Orthocad a été développée à la même période, mais son procédé reste secret. Le mode d'acquisition des images est qualifié de « destruction contrôlée », mais c'est tout ce que laisse filtrer la compagnie (Induni, 2002).

Sur le plan pratique, l'orthodontiste expédie à la compagnie une empreinte en alginate, ou un modèle en plâtre, accompagné d'une cire d'occlusion. Une semaine plus tard, les modèles numériques sont envoyés par Internet à l'orthodontiste. Les modèles obtenus sont d'une grande qualité visuelle et un logiciel propre à chaque compagnie permet de nombreuses fonctionnalités. Il est ainsi possible de réaliser, entre autres, l'analyse d'espace, l'analyse de Bolton ou le contrôle du positionnement des dents sous différentes vues. Les logiciels bénéficient de constantes améliorations et des fonctions supplémentaires accompagnent leur mise à jour.

En 2001, Tomassetti compare la précision de trois systèmes numériques pour l'analyse de Bolton : HATS (Hamilton Arch Tooth System), Orthocad et Quick Ceph. Le Bolton est calculé sur les modèles en plâtre à l'aide d'un vernier électronique, pour ensuite être comparé aux résultats obtenus avec les modèles numériques.

De ces trois compagnies, seule Orthocad utilise de véritables modèles numériques 3D. En effet, le système de Quick Ceph utilise la photographie numérique, dans un rapport 1/1, des modèles en vue occlusale. Tandis que le système HATS utilise un vernier électronique relié à un ordinateur, permettant le calcul immédiat des dimensions dentaires et du Bolton.

Bien que la technique de mesures prises sur les modèles en plâtre avec le vernier électronique soit plus précise et reproductible, les trois méthodes permettent de calculer le Bolton avec une précision cliniquement acceptable. Des trois méthodes, c'est Orthocad qui présente la plus grande variabilité avec une corrélation légèrement plus faible que les autres (Tomassetti, 2001).

En 2003, Zilberman compare la précision des mesures prises sur modèles électroniques Orthocad avec celles prises sur modèles en plâtre à l'aide d'un vernier électronique.

Ses résultats sont semblables à ceux de Tomassetti : le vernier électronique est toujours la méthode la plus précise et reproductible. Mais l'outil de prise de mesures dentaires d'Orthocad a été amélioré depuis l'étude précédente. Ainsi les résultats obtenus par Zilberman avec Orthocad sont sensiblement meilleurs que ceux de Tomassetti.

Pour Zilberman, la précision des modèles Orthocad est cliniquement acceptable et leur utilisation en orthodontie est envisageable.

En 2002, Induni compare la méthode traditionnelle avec vernier électronique versus des modèles numérisés en 3D de deux compagnies : Orthocad et Emodel. Elle montre que les mesures d'Emodel sont légèrement plus précises que celles d'Orthocad pour des dents fortement inclinées ou chevauchées.

Santoro (2003) et Quimby (2004) réalisent chacun une étude au *design* semblable à celui de l'étude de Zilberman et arrivent aux mêmes conclusions que ce dernier. Les modèles électroniques d'Orthocad offrent une précision de mesures dont la différence avec le vernier électronique est statistiquement significative, mais généralement si faible qu'elle est probablement cliniquement non significative.

Toutefois dans l'étude de Quimby, les mesures sur modèles électroniques sont toutes légèrement surestimées par rapport aux modèles en plâtre, tandis que pour Santoro c'est le contraire. Néanmoins, les auteurs estiment que ces différences n'ont pas de répercussion clinique.

En 2005, Mayers vérifie la précision des modèles électroniques de la compagnie Orthocad pour le calcul de l'index PAR (Peer Assessment Rating). Cet index est utilisé pour déterminer le degré de malocclusion, les résultats du traitement et le montant d'amélioration. Il mesure donc la sévérité de la malocclusion et son degré de déviation par rapport à la normalité. Après l'analyse de quarante huit paires de modèles, il conclut que les modèles électroniques sont aussi fiables et précis que ceux en plâtre pour le calcul de l'index PAR.

En 2006, Whetten évalue les différences qu'il peut exister dans l'élaboration d'un plan de traitement pour une malocclusion de Classe II, à l'aide de modèles en plâtre versus des modèles numérisés par la compagnie Emodel. Il conclut que les modèles électroniques sont une alternative valable par rapport aux modèles en plâtre.

En 2007, Mullen vérifie quant à lui la précision et la vitesse de mesure de la longueur d'arcade et du Bolton à l'aide du logiciel de la compagnie Emodel. Il montre que le Bolton calculé avec Emodel est aussi précis qu'avec la méthode traditionnelle, la différence entre les deux étant statistiquement non significative. Concernant le calcul de la longueur d'arcade, la différence est statistiquement significative, mais cliniquement non significative.



Il indique également que la prise de mesures et les calculs sur Emodel sont 65 secondes plus rapides. Ainsi il conclut que le logiciel d'Emodel est aussi précis mais plus rapide que la méthode traditionnelle, pour le calcul du Bolton et de la longueur d'arcade.

Toutes ces études tendent à montrer que l'utilisation de modèles électroniques sera de plus en plus répandue en orthodontie. Avec l'amélioration constante des logiciels, la précision des mesures sur modèles numérisés va certainement finir par égaler la technique traditionnelle de prise de mesures.

Mais en attendant l'amélioration de la précision de tels systèmes, il faut encore rester prudent. Lors de l'évaluation des modèles orthodontiques présentés pour l'examen de l'*American Board of Orthodontics*, les modèles numérisés présentent des différences importantes par rapport à leurs homologues en plâtre, lorsqu'ils sont positionnés en occlusion. En effet, un manque de précision important existe sur les modèles numérisés lors de la mesure du surplomb horizontal ou de l'évaluation de l'alignement et des contacts occlusaux (Hildebrand, 2008).

Les modèles d'étude orthodontiques en plâtre semblent donc parfaitement adaptés aux besoins de notre étude et vont nous permettre d'obtenir des mesures à la fois précises et reproductibles, grâce à l'utilisation du pied à coulisse électronique.

## 2.4 FORME ET DIMENSIONS D'ARCADE

Depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, le choix de la forme d'arcade demeure un sujet très controversé. En effet, on retrouve trois thématiques qui se contredisent :

- la recherche d'une forme d'arcade idéale adaptée à la majorité des individus,
- la prise en compte de formes d'arcades particulières propres à chaque individu,
- l'instabilité post-traitement si la forme d'arcade initiale est fortement modifiée.

### 2.4.1 Formes géométriques standardisées

De nombreux articles font référence à une forme d'arcade idéale et la littérature présente une grande variété de courbes géométriques :

- l'ellipse (Izard, 1927 ; Currier, 1969 ; Brader, 1972),
- la parabole (Mills, 1965),
- la caténaire (Scott, 1957 ; Burdi, 1966),
- la résolution d'équations mathématiques (Hayashi, 1956 ; Kawata, 1973),
- les fonctions polynomiales (Lu, 1966 ; Pepe, 1975),
- la fonction Bêta (Braun, 1998).

Pour Rudge (1982), une forme d'arcade idéale et individualisée peut être déterminée selon la formule de Bonwill-Hawley (1905) et servir de référence pour la plupart des calculs d'analyse d'arcade.

Motohashi (1999), dans son programme de set-up informatisé, a également fait le choix d'une arcade de type Bonwill-Hawley (1905). La partie antérieure de l'arcade est caractérisée par un cercle dont le diamètre est la somme des largeurs des incisives centrales, latérales et canines et dont le centre est situé sur l'axe de symétrie établi à l'étape précédente. Cette procédure est réalisée au niveau maxillaire et mandibulaire ; les deux arcades sont ensuite superposées pour être ajustées au besoin. Mais la forme d'arcade étant prédéterminée, le système est peu versatile et pas toujours respectueux de la morphologie osseuse.

Plusieurs auteurs pensent que l'utilisation de formes d'arcades géométriques standardisées n'est pas appropriée à chaque situation clinique. En effet, les études portant sur l'adaptation de formes géométriques s'appuient sur des sujets dont l'occlusion est normale (Raberin, 1993).

### 2.4.2 Forme d'arcade individualisée

En 1969, Riedel pensait que changer les largeurs inter-molaires et inter-canines durant le traitement augmentait les probabilités de récurrence. Aujourd'hui, cette idée prédomine encore ; ainsi plus les changements de forme d'arcade durant le traitement sont importants, plus le risque de récurrence est élevé. Ceci est particulièrement vrai pour la distance inter-canines.

De La Cruz (1995) et Amm (2003) suggèrent que la forme d'arcade en début de traitement paraît être le meilleur guide pour la future forme d'arcade. Ainsi, lorsque la forme d'arcade initiale est modifiée, on observe après le retrait des appareils, dans environ 70% des cas, une forte tendance à un retour à la forme originale.

La complexité du choix de la forme d'arcade tient dans la variété des formes rencontrées. Aucune forme d'arcade que ce soit la Bonwill Hawley, la caténaire, la parabole... ne convient à tous les cas cliniques.

En 1998, l'équipe de Kula étudie l'asymétrie des arcades en dentition mixte chez des enfants âgés de 7 à 11 ans. Elle observe une asymétrie de plus de 2 mm chez 25% des sujets de l'échantillon. L'asymétrie est à la fois plus fréquente et plus sévère dans le plan transversal par rapport au plan antéro-postérieur (Kula, 1998 ; Maurice, 1998).

Selon la sévérité de l'asymétrie osseuse ou alvéolo-dentaire, l'orthodontiste peut choisir de la corriger, ou bien de la conserver pendant le traitement et ainsi de travailler sur une forme d'arcade asymétrique.

White (1977) souligne également l'absence de symétrie parfaite des arcades. Du fait de cette variabilité, il suggère de tracer une arcade de référence en début de traitement et de la conserver pour l'ensemble du traitement orthodontique.

Bocquet-Moreau (2005) note que les arcs orthodontiques qui sont utilisés doivent respecter la morphologie des arcades, afin de placer les dents dans le couloir d'équilibre neuromusculaire. Cependant, la forme d'arcade est quelquefois altérée par des versions alvéolaires. La réalisation de la charte peut alors être perturbée si elle est construite à partir de données alvéolodentaires. Selon lui, le choix de la ligne mucogingivale comme guide pour la forme d'arcade semble répondre aux impératifs thérapeutiques.

Pour Andrews (1989), la *Wala Line*, initiales de *William And Larry Andrews*, représente un petit bourrelet de tissu conjonctif que l'on retrouve au niveau de la ligne mucogingivale. Verticalement, la ligne mucogingivale est une ligne de démarcation, aisément identifiable, qui sépare la gencive attachée de la gencive libre.

La limite mucogingivale semble marquer la séparation entre l'os basal et l'os alvéolaire. Elle permet de définir le contour basal maxillo-mandibulaire. Le niveau de cette ligne se trouve sensiblement au niveau des centres de résistance des dents. Elle représente la forme et la dimension idéale de l'arcade du patient (Andrews, 2000).

Clergeau-Gherithault (1985) note que cette ligne est facilement repérable au niveau des molaires sur les deux arcades. C'est une zone de fibro-muqueuse attachée, inamovible par rapport au plan sous-jacent.

Ainamo (1981) estime même que la distance entre la ligne de jonction mucogingivale et le bord inférieur de la mandibule reste stable quel que soit l'âge.

Sachant de plus que l'arcade maxillaire est un peu plus large de 2 mm que l'arcade mandibulaire, les deux arcades étant inscrites l'une dans l'autre, la forme des arcades correspond donc sensiblement à la forme et à la dimension de la ligne mucogingivale (Bertrand, 2002).

Afin de respecter la forme d'arcade, il semble donc nécessaire d'adapter l'arc orthodontique en fonction de la ligne mucogingivale (Danguy, 1992).

Par ailleurs, il a été constaté que les attaches molaires se trouvent à l'aplomb de cette ligne mucogingivale. La réalisation d'une charte, utilisant la forme et la dimension de la ligne mucogingivale, permet de mieux respecter les particularités anatomiques du patient.

L'épaisseur du boîtier molaire correspond sensiblement à la distance entre la face buccale et la ligne mucogingivale. En technique d'arc droit, les tubes molaires sont donc à l'aplomb de la ligne mucogingivale.

Selon Cauhépé (1948) et Doual-Bisser (1980), le choix de la forme d'arcade repose sur l'optimisation de la stabilité à venir. De ce fait, le but premier est de respecter la morphologie de la base osseuse. Ainsi, une asymétrie osseuse squelettique légère pourrait même être reproduite et conservée durant l'ensemble du traitement.

Lors de la détermination de la forme d'arcade, il est conseillé de conserver les dimensions inter-canines et inter-molaires et de chercher à obtenir un angle inter-incisifs idéal (Chateau, 1975).

Il faut également tenir compte d'éventuelles versions dento-alvéolaires très marquées, éloignant les dents de leur base osseuse. C'est pourquoi il est préférable de se fier à la *Wala Line* décrite par Andrews (1989).

Au cours du traitement orthodontique, la forme d'arcade doit être individualisée, déterminée selon les paramètres cliniques présents au début du traitement. La forme d'arcade doit être la plus physiologique possible. Plutôt que de déterminer une forme selon une règle spécifique, il faut privilégier une approche morpho-fonctionnelle en respectant les limites de la corticale osseuse. Selon ce principe, il serait même envisageable d'obtenir une forme d'arcade non symétrique, mais fidèle à la morphologie de la base osseuse.

C'est pourquoi, la *Wala Line* est très utile pour représenter la base apicale et permet de déterminer une forme d'arcade individualisée à chaque patient. (Ronay, 2008)

### 2.4.3 Limites de l'arcade mandibulaire

Les modèles en plâtre que nous avons analysés dans notre étude sont ceux de l'arcade mandibulaire, car les possibilités thérapeutiques y sont plus limitées qu'au niveau maxillaire.

En effet, l'arcade inférieure est plus limitée que l'arcade supérieure concernant les possibilités d'une expansion stable dans le temps. De même, la distalisation des molaires se réalise plus difficilement au niveau mandibulaire (Proffit, 2007).

Durant le traitement orthodontique, il est conseillé de ne pas procliner les incisives inférieures de plus de 2 mm. Ceci est à moduler notamment en fonction de l'activité labiale : lèvres tendues ou lâches (Proffit, 2007).

De plus, lors de la correction du chevauchement, l'expansion des canines n'est pas stable : idéalement la distance inter-canines devrait rester la même (pas plus d'1 mm d'expansion). Il est préférable de gagner de la place en réalisant une expansion prémolaires (jusqu'à 2 mm pour la première prémolaire et de 2 à 3 mm pour la seconde) ou molaires (jusqu'à 3mm) (Proffit, 2007).

Il est donc recommandé de réaliser une expansion transversale plutôt qu'antéropostérieure, mais seulement postérieurement aux canines (Proffit, 2007).

De nombreuses études indiquent que l'expansion des canines est très instable, spécialement au niveau de l'arcade inférieure (Little, 1990 ; Burke, 1998 ; Gianelly, 2006).

En fait, la distance inter-canines diminue avec l'âge, qu'il y ait eu ou non un traitement orthodontique, probablement à cause de la pression des lèvres au niveau des commissures. En revanche, l'expansion prémolaires ou molaires est plus stable, certainement grâce à la pression moins forte des joues (Proffit, 2007).

C'est pourquoi, avec ou sans traitement orthodontique, il peut se produire avec l'âge un chevauchement tardif des incisives inférieures (Proffit, 2007).

Depuis le début du XXème siècle, pour la plupart des orthodontistes, l'alignement de l'arcade mandibulaire détermine l'alignement et la forme de l'arcade maxillaire (Angle, 1899).

L'arcade mandibulaire sert de guide sur lequel l'arcade maxillaire se développe (Burstone, 2000).

En revanche, Heiser va à l'encontre de cette théorie. Il estime que de nombreuses études se sont intéressées aux changements mandibulaires post-contention, sûrement parce que la récurrence est plus marquée au niveau de l'alignement incisif mandibulaire. À ce titre il remet en question l'hypothèse selon laquelle l'arcade mandibulaire guiderait la forme de l'arcade maxillaire. Pour lui, il se produirait le contraire : l'arcade mandibulaire adapterait son occlusion à l'arcade maxillaire. La récurrence antérieure mandibulaire pourrait n'être rien de plus que l'adaptation fonctionnelle à l'arcade maxillaire, qui serait plus stable que l'arcade mandibulaire. En conséquence, les distances inter-canines maxillaires et mandibulaires se comporteraient différemment. Selon lui, c'est l'angle de la guidance canine maxillaire en fin de contention qui est le plus associé aux changements de distance inter-canines mandibulaire et donc à la récurrence du chevauchement incisif inférieur (Heiser, 2008).

Pour Proffit (2007), dans un cas de Classe I, une valeur de 5 mm de chevauchement, de la face mésiale de la 36 à la face mésiale de la 46, représenterait la valeur limite à partir de laquelle un traitement avec des extractions devrait être considéré. Le choix d'extraire ou non va dépendre de nombreux facteurs tels que le profil facial, l'espace libre des lèvres au repos ou le support parodontal. Si le traitement est réalisé sans extraction, l'espace pourrait être gagné soit :

- par expansion transversale, préférentiellement au niveau des prémolaires et des molaires,
- par proclinaison des incisives,

- par distalisation des molaires,
- par réduction amélaire interproximale (*stripping*).

À partir de 10 mm de chevauchement, de la face mésiale de la 36 à la face mésiale de la 46, le choix d'extraire est presque toujours requis (Proffit, 2007).

Finalement le chevauchement dentaire est dû à des dents trop volumineuses (ou mal placées) par rapport à leur base osseuse. Sans expansion de la base osseuse, les dents ne pourront s'aligner que grâce aux artifices décrits plus haut.

Pour des raisons de stabilité, il est très important de maintenir les dents sur leur crête osseuse durant le traitement orthodontique. Mais en dehors des questions de stabilité, il faut également préserver la pérennité parodontale des dents après le traitement orthodontique (Burrow, 2008).

Le fait de procliner l'incisive mandibulaire au-delà de 95° dans un parodonte déjà affaibli augmenterait la sévérité de la récession parodontale (Yared, 2006).

Ceci n'est pas un argument en faveur des traitements sans extraction des patients présentant un chevauchement incisif mandibulaire sévère (Dorfman, 1978).

Si, effectivement, le traitement orthodontique est réalisé sans extraction, il faudra anticiper la quantité de proclinaison et demander, avant de débiter le traitement, un avis chez un parodontiste pour éventuellement faire réaliser une greffe parodontale au niveau des zones à risque de déhiscence (Årtun, 1987).

Toutefois, selon Damon, par l'emploi de forces légères et continues il serait possible de traiter, sans extraction, quasiment la totalité des cas de chevauchement dentaire. Pour lui, seuls les contraintes faciales, et non la quantité de chevauchement, devraient guider notre choix d'extraire ou non. Ainsi, en utilisant des forces orthodontiques douces, il affirme qu'il serait possible de gagner de la place transversalement par apposition osseuse. Ainsi, d'une part, ses traitements ne seraient pas moins stable que ceux réalisés avec extractions et, d'autre part, il n'y aurait pas plus de perte osseuse ; bien que les



greffes gingivales pré-traitement soient souvent requises au niveau incisivo-canin inférieur (Damon, 2005).

L'approche de Damon est actuellement très controversée, certains auteurs lui reprochant une démarche trop commerciale et pas assez basée sur des faits probants avec publication d'articles scientifiques dans des revues orthodontiques renommées (Kim, 2003 ; Gianelly, 2006 ; Burrow, 2008).

En fait, au début du XXème siècle, la controverse « Extraire ou Ne pas extraire » entre Angle et ses détracteurs existait déjà. Selon Angle, les traitements d'expansion pour corriger le chevauchement dentaire étaient stables, car ils étaient basés sur la théorie de la croissance osseuse (Angle, 1910). Mais, son élève, Case remettra en cause cette théorie quelques années plus tard (Case, 1920).

Aujourd'hui encore le débat se poursuit entre les héritiers spirituels de chaque clan.

#### 2.4.4 Influence des extractions

Certains orthodontistes estiment qu'un traitement orthodontique réalisé à l'aide d'extractions de prémolaires entraînerait inévitablement une réduction de la largeur d'arcade (Damon, 2007). D'autres auteurs montrent que les extractions de prémolaires ne produisent pas forcément une diminution de cette largeur (Gianelly, 2003).

Les corridors buccaux sont des zones intra-buccales, visibles au niveau des commissures labiales, délimitant un espace entre l'arcade dentaire maxillaire et l'intérieur de la joue. Pour certains praticiens, la présence de ces corridors buccaux diminuerait l'esthétique du sourire. En outre, ils seraient plus marqués après un traitement réalisé avec extractions de prémolaires causant une constriction des arcades dentaires (Dierkes, 1987 ; Witzig, 1987).

Mais cette notion reste controversée. En effet, dans une étude évaluant les corridors buccaux chez des patients traités avec ou sans extraction de prémolaires, les auteurs calculent le *ratio des corridors buccaux* défini par le rapport entre la largeur inter-canine maxillaire et la largeur de la bouche durant le sourire. Ils montrent que les corridors

buccaux ne sont pas plus modifiés lors des traitements réalisés avec ou sans extraction de prémolaires (Johnson, 1995).

#### 2.4.5 Période de contention

On retrouve dans les écrits scientifiques francophones le terme de *contention* ou de *rétenion*, traduits du terme anglais *retention* (Chabre, 2007).

Selon Chabre (2007), la période du port des appareillages de contention est au minimum d'un an, mais cette période peut durer beaucoup plus longtemps en fonction de divers paramètres cliniques :

- type et sévérité de la malocclusion pré-traitement,
- âge du patient et croissance résiduelle,
- type de traitement : orthodontique seulement ou associé à un traitement orthopédique ou à une chirurgie orthognathique.

Ces paramètres cliniques vont également guider l'orthodontiste dans le choix des appareillages de contention qui peuvent être :

- appareils amovibles type *Hawley* supérieur et/ou inférieur,
- fil collé sur la face linguale des dents supérieures et/ou inférieures, le plus souvent de canine à canine,
- fil collé seulement sur les canines, effleurant la face linguale des incisives, pour faciliter le nettoyage dentaire,
- gouttières thermoformées rigides amovibles supérieure et/ou inférieure,
- *tooth positionner* (ou *pre-finisher*) : appareil amovible actif permettant aux dents de réaliser une meilleure inter-digitation (*settling*), également utilisé de manière passive en période de contention.

Cette liste est non exhaustive et chaque appareillage possède des avantages et des inconvénients. Les appareillages amovibles demandent une bonne coopération du patient quant au port, tandis que les appareillages fixes nécessitent une conduite du brossage dentaire irréprochable.

La gestion de la période de contention est propre à chaque orthodontiste en fonction du patient et du type de traitement réalisé.

C'est en fin de contention, lors du retrait des appareillages, que la récurrence va être la plus représentative de l'instabilité du traitement orthodontique.

Il est à noter qu'avant *l'ère du collage des boîtiers*, les traitements orthodontiques fixes étaient réalisés à l'aide de bagues positionnées autour de toutes les dents. À la fin du traitement actif, il était fréquemment fabriqué un fil de contention lingual supporté par des bagues scellées autour des canines ou des prémolaires mandibulaires.

Dans les études évaluant la stabilité à 10 ans ou plus post-contention, on retrouve fréquemment ce type de contention sur bagues, qui ne pouvait être laissé en place trop longtemps pour des raisons de santé parodontale.

Toutefois, ce n'est pas la durée du port de cette contention, en général entre 1 et 3 ans, qui peut poser problème quant à la stabilité de l'alignement incisif inférieur, mais plutôt qu'il persiste des espaces interdentaires dans le secteur antérieur, lors de la dépose des bagues (De La Cruz, 1995).

Grâce aux techniques actuelles de collage, il est possible de réaliser une contention avec des contacts serrés entre les dents antérieures, ce qui semble être un gage de stabilité supplémentaire. Mais ceci devra être vérifié par des études futures post-contention, en tenant compte de l'évolution des techniques de contention fixes.

#### 2.4.6 *Facteurs de stabilité*

Certaines études évaluent la stabilité du traitement jusqu'à 20 ans post-contention, mais il s'avère toujours difficile de connaître les véritables causes de la récurrence (Little, 1988).

En dehors du maintien de la forme d'arcade initiale, d'autres facteurs, tels que le type de mécaniques orthodontiques utilisées ou des caractéristiques propres au patient (tissus

mous, parafonctions...), jouent un rôle important dans la stabilité du résultat final. C'est pourquoi la validité des études portant sur la stabilité des arcades dentaires post-traitement orthodontique est souvent prise en défaut (BeGole, 1998 ; Taner, 2004).

Le chevauchement incisif mandibulaire post-contention est le premier signe de l'instabilité progressive du traitement orthodontique. Ce mauvais alignement incisif va être le précurseur de la récurrence du chevauchement maxillaire, puis de rapports maxillo-mandibulaires inadéquats, et donc de la détérioration du traitement (Little, 1975).

En 1981, Little publie une étude sur des patients ayant été traités avec extractions des premières prémolaires. Voici ses conclusions :

- l'alignement dentaire sur le long terme est variable et imprévisible,
- aucune caractéristique, telle que la classe d'Angle, la durée de la contention, l'âge du patient, le sexe, le moment du début ou de la fin du traitement actif du chevauchement, les surplombs horizontaux et verticaux, la largeur ou la longueur d'arcade, ne permettent de prédire les résultats à long terme.

Toutefois, il note que la largeur et la longueur d'arcade diminuent en post-contention, tandis que le chevauchement augmente proportionnellement à la quantité d'expansion inter-canines durant le traitement (Little, 1981).

Après plusieurs décennies de recherche, la stabilité de l'alignement dentaire représente un élément hautement variable et imprévisible. Il ne semble pas exister de données cliniques ou de paramètres céphalométriques, pré ou post-traitement, permettant de prédire la quantité de récurrence post-contention (Little, 1990).

Finalement, pour une meilleure stabilité post-traitement, il faut éviter toute expansion au niveau des canines inférieures durant le traitement orthodontique. Si, malgré tout, une augmentation de la distance inter-canines se produit durant le traitement, elle doit rester inférieure à 1 mm. Toute expansion excessive à ce niveau pourrait entraîner une récurrence du chevauchement incisif inférieur (Gianelly, 2006).

En effet, suite à une méta-analyse basée sur une revue de 26 écrits scientifiques traitant de la stabilité post-contention de la distance inter-canines inférieure, il a été montré chez 1 233 patients dont cette distance avait été augmentée de 1 à 2 mm une tendance à un retour à la largeur inter-canines présente avant le traitement. Quelque soit le type de traitement, dès l'instant où une expansion inter-canines a été réalisée, il y a systématiquement une constriction tendant vers la dimension originale lors du retrait des appareillages de contention (Burke, 1998).

Ainsi le maintien de la forme d'arcade initiale avant et après traitement orthodontique semble être la clé de voûte de la stabilité. Parmi toutes les dimensions caractérisant la forme d'arcade, la distance inter-canines inférieure est celle qui devrait être la moins modifiée pendant le traitement. Ceci est d'autant plus délicat à obtenir que le chevauchement inférieur est important et que nous essayons de traiter le patient sans réaliser d'extraction.

Au niveau de l'arcade inférieure, lors du traitement des cas orthodontiques sans extraction et sans réduction amélaire interproximale, les dents chevauchées peuvent trouver de la place pour s'aligner soit par expansion transversale, soit par expansion antéropostérieure.

Dans notre étude, nous souhaitons analyser les effets orthodontiques, sur les dimensions de l'arcade inférieure, d'un traitement orthodontique sans extraction.

Pour une meilleure stabilité suite à un traitement orthodontique sans extraction, la distance inter-canines inférieure devrait être moins modifiée que la distance intermolaires et la longueur d'arcade.

Notre projet de recherche consistera à comparer des modèles en plâtre avant et après traitement orthodontique sans extraction. Nous analyserons alors quelle est la dimension la plus affectée lors de la correction du chevauchement au niveau de l'arcade inférieure, la distance inter-canines inférieure devant être la plus stable.

# CHAPITRE TROIS

## 3 MÉTHODOLOGIE

## 3. MÉTHODOLOGIE

Notre étude analytique est entièrement basée sur des modèles en plâtre, tous sélectionnés au sein de la Section d'orthodontie de l'Université de Montréal. Nous n'avons eu aucun contact avec les patients correspondant aux modèles analysés, car l'étude est rétrospective et le traitement actif des patients était terminé avant le début de notre étude.

De plus, les patients de notre étude avaient tous signé un consentement pour l'utilisation de l'ensemble des éléments du dossier clinique (dont les modèles d'étude) pour l'une ou plusieurs des fins suivantes : conférences scientifiques, enseignement, recherche, publications.

### 3.1 MATÉRIEL

#### 3.1.1 *Modèles en plâtre*

Parmi les modèles d'étude disponibles en orthodontie, les modèles en plâtre demeurent les meilleurs supports existant en trois dimensions pour des études analytiques. Ils permettent à la fois la prise de mesures rapides, précises et reproductibles.

Les modèles en plâtre de notre étude ont été réalisés à partir d'empreintes en alginate effectuées à deux moments distincts (Figure 8) :

- Juste avant le début du traitement orthodontique,
- Au moment de la dépose des appareillages orthodontiques, lors de la mise en place des appareillages de contention.

Ils ont été coulés en plâtre orthodontique blanc et taillés selon les normes orthodontiques actuellement recommandées par l'*American Board of Orthodontics*. Leur surface a été savonnée lors de la finition au laboratoire. Selon une étude de Hunter, la mince couche de savon n'affecterait pas la précision des mesures (Hunter, 1960).

Seuls les modèles en plâtre de l'arcade inférieure ont été analysés dans notre étude.



*Figure 8 : Modèles mandibulaires pré (à gauche) et post-traitement (à droite).*

### 3.1.2 Pied à coulisse électronique

Le pied à coulisse (ou vernier) électronique à affichage digital est l'instrument de choix pour la prise des mesures manuelles sur les modèles en plâtre. L'appareil utilisé dans cette étude est un vernier orthodontique de la compagnie Orthopli (Orthopli Corp., Philadelphia, PA, USA) et sa précision est de 0,01 mm (Figure 9).



*Figure 9 : Pied à coulisse électronique.*



## 3.2 SÉLECTION DES CAS

### 3.2.1 Critères d'inclusion

Les arcades inférieures pré-traitement sont en dentition permanente et doivent toutes présenter un chevauchement, de la face mésiale de la 36 à la face mésiale de la 46, compris entre 1 et 5 mm. Tous les traitements ont été réalisés sans extraction au niveau de l'arcade inférieure. Toutes les dents ont terminé leur éruption sur l'arcade, de 36 à 46, sans agénésie ou absence dentaire.

La sélection des patients n'est donc pas réalisée en fonction de leur âge chronologique, mais en fonction de leur âge dentaire (ou dento-alvéolaire).

### 3.2.2 Critères d'exclusion

Les modèles en plâtre suivants ont été exclus de l'étude :

- modèles abîmés pouvant restreindre la précision des mesures,
- absence de chevauchement ou excès de place pré-traitement,
- dents absentes sur l'arcade inférieure pré et/ou post-traitement de 36 à 46,
- persistance de dents primaires,
- dents surnuméraires au niveau inférieur,
- mauvais alignement dentaire post-traitement,
- dents inférieures ayant subi une réduction amélaire interproximale (*stripping*) durant le traitement, facilement vérifié en comparant les largeurs mésio-distales des dents pré et post traitement.

## 3.3 DÉNOMINATION DES MODÈLES

Le biostatisticien du projet, Pierre Rompré, a proposé, pour les besoins de notre étude, une sélection de 15 paires de modèles par groupe, c'est-à-dire 30 modèles par groupe, soit un total de 90 modèles.

Cédric Cardona (étudiant) a présenté 15 paires de modèles par groupe, répondant aux critères définis plus haut, à Athéna Papadakis (directrice du projet). Cette dernière a

alors procédé à l'anonymisation des modèles en plaçant un autocollant numéroté sur le nom du patient marqué au dos des modèles et de leur boîte cartonnée.

Les paires de modèles du groupe 1 sont numérotées de 1 à 15, celles du groupe 2 de 16 à 30, et celles du groupe 3 de 31 à 45.

Toutes les mesures ont ensuite été réalisées par Cédric Cardona sur des modèles en plâtre totalement anonymes. Seule Athéna Papadakis conservera une fiche nominative des patients avec pour chacun un numéro d'identification de 1 à 45, afin de pouvoir les replacer à la fin de l'étude dans les *Archives* de la section d'orthodontie de l'Université de Montréal.

Ainsi, aucun nom de patient n'apparaît dans notre étude et il n'y a aucun moyen pour l'étudiant de faire le lien entre un modèle en plâtre et le nom d'un patient.

### 3.4 ACQUISITION DES DONNÉES

Pour quantifier le chevauchement au niveau inférieur, nous avons réalisé pour chaque modèle prétraitement une analyse d'espace, à l'aide du vernier électronique, selon la méthode de Staley (Bishara, 2001).

L'analyse d'espace représente la différence entre le montant d'espace disponible pour l'alignement dentaire (qui est fonction du périmètre d'arcade) et le montant d'espace nécessaire (qui est fonction de la largeur mésio-distale des dents).

L'espace disponible est mesuré en divisant l'arcade en six segments (prémolaires, canine, incisives) de la face mésiale de la 36 à la face mésiale de la 46, et en mesurant ces derniers individuellement. La somme de ces segments correspond à l'espace disponible. L'espace nécessaire est calculé en réalisant la somme des largeurs mésio-distales de chaque dent entre les points de contact.

Si la somme des largeurs mésio-distales des dents est supérieure au montant d'espace disponible, alors un chevauchement dentaire peut survenir. La valeur de la mesure est alors négative ; une valeur positive indiquerait la présence de diastèmes, c'est-à-dire un excès de place sur l'arcade. Dans notre étude, les valeurs de chevauchement sont par

définition toutes négatives ; mais, pour faciliter la lecture des données, ces dernières sont toutes exprimées en valeur absolue.

Selon Proffit (2007), une valeur de 5 mm de chevauchement au niveau de l'arcade inférieure représente la valeur limite à partir de laquelle un traitement avec des extractions devrait être considéré. Ainsi, nous avons pu séparer les paires de modèles en trois groupes distincts en fonction de la quantité de chevauchement pré-traitement :

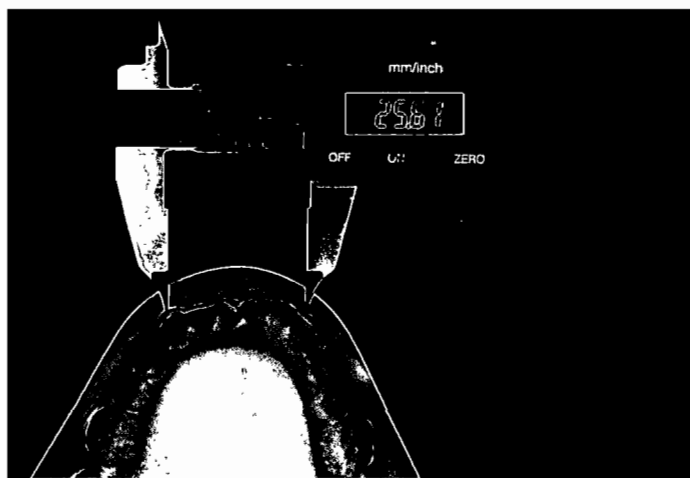
- Groupe 1 : chevauchement léger (1 à 2 mm), 15 paires de modèles inférieurs pré et post-traitement,
- Groupe 2 : chevauchement modéré (2,5 à 3,5 mm), 15 paires de modèles inférieurs pré et post-traitement,
- Groupe 3 : chevauchement sévère (4 à 5 mm), 15 paires de modèles inférieurs pré et post-traitement.

Ensuite, les trois mesures clés de notre étude ont toutes été réalisées directement sur les modèles en plâtre à l'aide du vernier électronique :

- Distances inter-canines pré et post-traitement,
- Distances inter-molaires pré et post-traitement,
- Longueurs d'arcade pré et post-traitement.

La mesure de la distance inter-canines (A) a été réalisée, pré et post-traitement, en positionnant le vernier parallèlement au plan occlusal avec les pointes du vernier placées sur le sommet de la cuspide des canines droite et gauche (Figure 10).

Les variations dimensionnelles de la distance inter-canines (A) indiquent des modifications dans le positionnement des canines suite au traitement orthodontique.



*Figure 10 : Mesure de la distance inter-canines (distance A).*

La mesure de la distance inter-molaires (B) a été réalisée, pré et post-traitement, selon le même principe avec les pointes du vernier placées sur le sommet de la cuspidé mésio-buccale des premières molaires droite et gauche (Figure 11).

Les variations dimensionnelles de la distance inter-molaires (B) indiquent des modifications dans le positionnement des premières molaires suite au traitement orthodontique.



*Figure 11 : Mesure de la distance inter-molaires (distance B).*

La longueur d'arcade est traditionnellement calculée au niveau de l'arcade inférieure en mesurant la distance entre le point de contact mésial des deux incisives centrales et le milieu de la droite joignant les deux points de contact mésiaux des premières molaires droite et gauche. Ceci est facilement mesuré sur un support papier en deux dimensions représentant le modèle en plâtre. En revanche, le calcul est beaucoup plus aléatoire directement sur le modèle en plâtre. Pour cette mesure, certains auteurs parlent plutôt de profondeur d'arcade.

Dans notre étude, l'ensemble des mesures est réalisé directement sur les modèles en plâtre ; c'est pourquoi, pour des soucis de précision, la longueur d'arcade (E) propre à notre projet est déterminée, pré et post-traitement, en joignant le point de contact mésial des deux incisives centrales au sommet de la cuspide mésio-buccale des molaires gauche (C) et droite (D) (Figure 12).

Les variations dimensionnelles de la longueur d'arcade ( $E = C+D$ ) indiquent des modifications dans le positionnement des incisives centrales et/ou des premières molaires suite au traitement orthodontique.



Figure 12 : Mesure de la longueur d'arcade (distance  $E=C+D$ ).

Concernant la chronologie pour la prise des mesures, la Dre Papadakis a remis les modèles au Dr Cardona dans un ordre aléatoire. De plus, les modèles pré et post-traitement d'une même boîte n'ont jamais été mesurés directement l'un après l'autre. Ceci a permis de réaliser les mesures en aveugle.

Ainsi les valeurs mesurées sur le modèle pré-traitement n'ont pas influencé celles mesurées sur le modèle post-traitement. Lorsqu'un modèle était remis au Dr Cardona, ce dernier débutait par la mesure de la distance A, puis B, pour finir par C et D. Dès que les mesures d'un modèle étaient terminées, il était rendu à la Dre Papadakis en échange d'un autre modèle à mesurer.

## 3.5 ANALYSES STATISTIQUES

### 3.5.1 Comparaison des variables intra et inter-groupes

Au sein d'un même groupe, nous souhaitons comparer les variations dimensionnelles des trois distances suivantes :

- Distances inter-canines pré et post-traitement,
- Distances inter-molaires pré et post-traitement,
- Longueurs d'arcade pré et post-traitement.

Puis nous comparerons les variations dimensionnelles pour chaque distance d'un groupe à l'autre.

### 3.5.2 Fiabilité des mesures

L'ensemble des mesures primaires sur les 45 paires de modèles a été réalisé par l'étudiant, Cédric Cardona.

Puis les mêmes mesures ont été réalisées, par la même personne, une semaine plus tard, sur 15 modèles pris au hasard pour évaluer la fiabilité intra-examineur.

Enfin, le même procédé a été réalisé sur ces 15 modèles par un autre étudiant en orthodontie de 3<sup>ème</sup> année, pour évaluer la fiabilité inter-examineurs.

Classiquement, la fiabilité des mesures s'apprécie par le calcul des coefficients de corrélation intra-classe (ICC).

Si les mesures étaient réalisées sans erreur, l'ICC serait de 1,00. Plus la proportion de la variance due à l'erreur augmente, plus l'ICC diminue.

On hiérarchise les ICC de la façon suivante (Tableau I) :

	<b>ICC</b>
EXCELLENT	> 0,91
BON	0,71-0,90
MODÉRÉ	0,51-0,70
MÉDIOCRE	0,31-0,50
TRÈS MAUVAIS	0-0,30

*Tableau I : Classification des coefficients de corrélation intra-classe.*

# CHAPITRE QUATRE

## 4 RÉSULTATS



## 4. RÉSULTATS

Pour simplifier l'énoncé des résultats, nous avons utilisé un certain nombre d'abréviations décrites ci-dessous :

### Trois groupes de modèles d'étude orthodontiques en plâtre :

Groupe 1 : chevauchement léger (1 à 2mm)

Groupe 2 : chevauchement modéré (2.5 à 3.5mm)

Groupe 3 : chevauchement sévère (4 à 5mm)

### Valeurs mesurées avant traitement orthodontique :

A1 : distance inter-canines inférieure avant traitement orthodontique

B1 : distance inter-molaires inférieure avant traitement orthodontique

C1 : distance entre le milieu inter-incisives inférieur et la molaire inférieure gauche

D1 : distance entre le milieu inter-incisives inférieur et la molaire inférieure droite

E1 : longueur d'arcade avant traitement orthodontique

$E1 = C1 + D1$

### Valeurs mesurées après traitement orthodontique :

A2 : distance inter-canines inférieure après traitement orthodontique

B2 : distance inter-molaires inférieure après traitement orthodontique

C2 : distance entre le milieu inter-incisives inférieur et la molaire inférieure gauche

D2 : distance entre le milieu inter-incisives inférieur et la molaire inférieure droite

E2 : longueur d'arcade après traitement orthodontique

$E2 = C2 + D2$

### Variation de distances :

A2A1 = variation de la distance inter-canines

B2B1 = variation de la distance inter-molaires

E2E1 = variation de la longueur d'arcade

## 4.1 FIABILITÉ DES MESURES

Le tableau II indique les valeurs obtenues pour le test de fiabilité (coefficient de corrélation intraclasse ou ICC) intra et inter-examineurs (observateurs) relatif aux mesures des distances A, B, C et D :

Mesure	ICC	
	Intra examineur	Inter examineurs
A	0,990	0,982
B	0,995	0,991
C	0,987	0,986
D	0,986	0,973

*Tableau II : Test de fiabilité par calcul des ICC.*

Ce sont toutes des valeurs montrant une fiabilité excellente.

## 4.2 VARIATIONS DIMENSIONNELLES PRÉ ET POST-TRAITEMENT

L'analyse de variance (ANOVA) est une technique statistique permettant de savoir si une ou plusieurs variables dépendantes sont en relation avec une ou plusieurs variables dites indépendantes.

Dans notre étude, l'ANOVA nous a permis de comparer les moyennes pour chaque groupe de modèles en plâtre (Figures 13, 14, 15, 16).

L'ANOVA a été réalisée en comparant les 3 sites (A, B, E) entre eux pour chaque groupe (1, 2, 3), puis en comparant les groupes entre eux pour chaque site.

Le groupe complet représente l'ensemble des trois groupes confondus.

Pour obtenir une valeur statistiquement significative, le p correspondant à la valeur doit être inférieur ou égal à 0,05.

Il est à noter que nous avons appliqué une correction de Bonferroni lors de la comparaison des 3 sites entre eux (Tableau V) et lors de la comparaison des 3 groupes entre eux (Tableau VI).

Avec correction de Bonferroni, nous obtenons une analyse statistique beaucoup plus stricte, car lors des comparaisons, les p sont multipliés par le nombre de sites (ou de groupes) c'est-à-dire par trois. Ceci nous permet de mettre en relief les variations réellement significatives propres à notre étude.

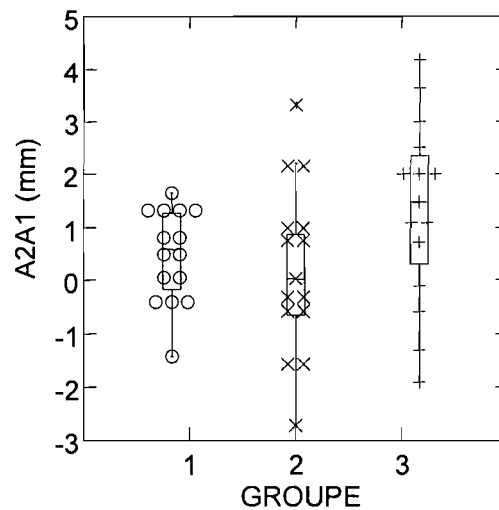


Figure 13 : Variation de la distance inter-canines.

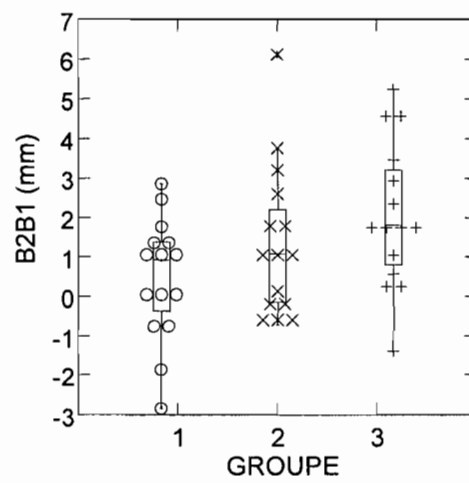


Figure 14 : Variation de la distance inter-molaires.

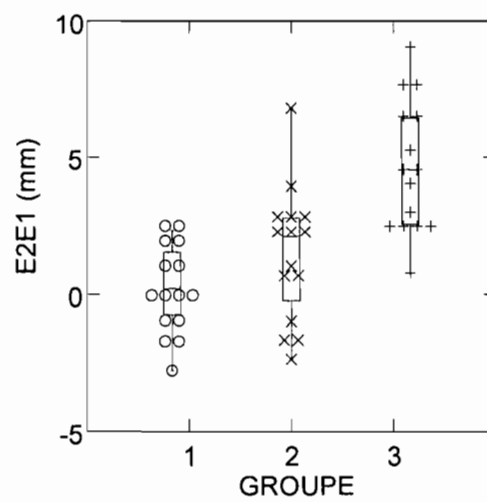


Figure 15 : Variation de la longueur d'arcade.

#### 4.2.1 Comparaisons intra-groupe

Pour les comparaisons intra-groupes, nous avons réalisé une ANOVA en mesures répétées. Ceci nous a permis de comparer les sites pour chaque groupe.

Concernant le groupe complet, la valeur de p (site par groupe) est significative ( $p=0,0017$ ) (Tableau III).

Groupe	A2A1		B2B1		E2E1		p
	<i>Moyenne (mm)</i>		<i>Moyenne (mm)</i>		<i>Moyenne (mm)</i>		
<b>Complet</b>	0,66		1,30		2,13		<b>0,0017</b>

*Tableau III : ANOVA en mesures répétées du groupe complet.*

Cette valeur statistiquement significative nous a conduits à rechercher l'effet du site pour chacun des groupes (Tableau).

Dans le tableau IV, les valeurs moyennes *Mean* sont accompagnées de leur valeur d'erreur type *SEM* et sont exprimées en millimètres (mm).

Groupe	A2A1		B2B1		E2E1		p
	<i>Mean</i>	<i>SEM</i>	<i>Mean</i>	<i>SEM</i>	<i>Mean</i>	<i>SEM</i>	
<b>1</b>	0,47	0,23	0,47	0,40	0,25	0,39	0,7016
<b>2</b>	0,18	0,41	1,35	0,50	1,50	0,64	0,1306
<b>3</b>	1,34	0,45	2,08	0,48	4,64	0,63	<b>0,0012</b>

*Tableau IV : ANOVA en mesures répétées intra-groupe.*

On remarque que le groupe 3 présente des valeurs significatives ( $p=0,0012$ ), tandis que ni les valeurs mesurées pour le groupe 1, ni celles du groupe 2, ne sont significatives.

Le tableau V présente les valeurs de p pour le groupe 3 lors de la comparaison des sites entre eux, avec correction de Bonferroni.

<b>Groupe 3</b>	<b>A2A1 / B2B1</b>	<b>A2A1 / E2E1</b>	<b>B2B1 / E2E1</b>
<b>p</b>	0,5543	<b>0,0088</b>	<b>0,0215</b>

*Tableau V : Comparaison des sites pour le groupe 3, avec correction de Bonferroni*

Au niveau statistique, pour le groupe 3, on constate un *effet site*. En effet, les valeurs de p sont significatives lors de la comparaison de la variation de la longueur d'arcade par rapport aux variations de la distance inter-canines ( $p=0,009$ ) et de la distance inter-molaires ( $p=0,022$ ); tandis que la comparaison des variations de la distance inter-canines et de la distance inter-molaires est non significative.

#### 4.2.2 Comparaisons inter-groupes

Nous avons ensuite comparé les groupes entre eux pour chacun des sites grâce à une *One-Way ANOVA*, c'est-à-dire une analyse de variance à une variable indépendante (Tableau VI).

<b>Distances</b>	<b>Complet</b>	<b>Entre 1 et 2</b>	<b>Entre 1 et 3</b>	<b>Entre 2 et 3</b>
	<b>p</b>	<b>p</b>	<b>p</b>	<b>p</b>
<b>A2A1</b>	0,0905	1,0000	0,3368	0,1074
<b>B2B1</b>	<b>0,0576</b>	0,5488	<b>0,0531</b>	0,8141
<b>E2E1</b>	<b>0,0000</b>	0,3699	<b>0,0000</b>	<b>0,0009</b>

*Tableau VI : One-Way ANOVA inter-groupes, avec correction de Bonferroni pour les 3 dernières colonnes.*

On constate que la variation de la distance inter-canines n'est jamais significative, ni pour le groupe complet, ni lors des comparaisons inter-groupes.

Au niveau statistique, concernant les deux autres sites, on constate un *effet groupe*.

Concernant la variation de la distance inter-molaires, seule la valeur obtenue pour la comparaison entre les groupes 1 et 3 ( $p=0,0531$ ) est significative.

En outre, à l'exception de la comparaison entre les groupes 1 et 2, la longueur d'arcade présente toujours une variation significative :  $p=0,0000$  pour le groupe complet ;  $p=0,0000$  entre les groupes 1 et 3 ;  $p=0,0009$  entre les groupes 2 et 3 (Tableau VI).

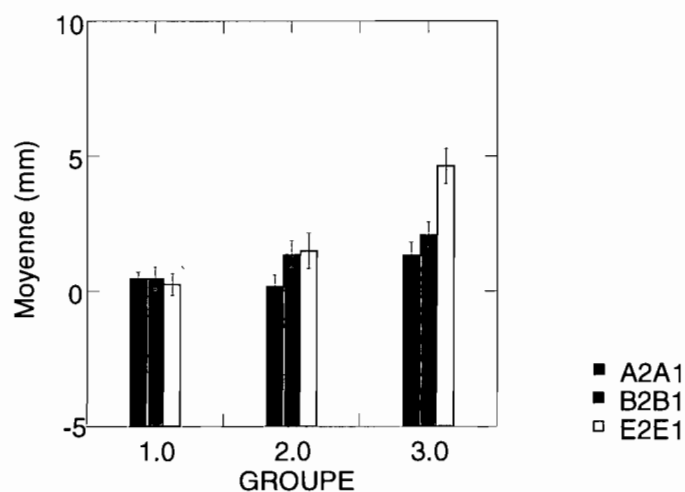


Figure 16 : Comparaison des moyennes intra et inter-groupes.

# CHAPITRE CINQ

## 5 DISCUSSION



## 5. DISCUSSION

### 5.1 MATÉRIEL UTILISÉ

#### 5.1.1 *Modèles d'étude en plâtre*

Toutes les mesures ont été réalisées sur des modèles d'étude en plâtre sélectionnés au sein de la section d'orthodontie de l'Université de Montréal.

Bien que les mesures puissent s'avérer plus longues à réaliser sur les modèles en plâtre par rapport aux modèles numérisés, les modèles en plâtre restent la référence pour la prise de mesures précises et reproductibles.

#### 5.1.2 *Pied à coulisse électronique*

Le pied à coulisse électronique à usage orthodontique est l'instrument le plus précis pour réaliser des mesures directement sur les modèles en plâtre. Ses extrémités pointues permettent de le positionner très précisément, à l'endroit désiré sur le modèle.

### 5.2 ACQUISITION DES DONNÉES

Les groupes de patients n'ont pas été constitués en fonction de la technique orthodontique utilisée, car au sein de la section d'orthodontie de l'Université de Montréal chaque patient est traité avec l'association de plusieurs cliniciens et de plusieurs techniques. Il n'était donc pas possible de réaliser une étude en fonction d'une technique particulière ou en comparant plusieurs techniques.

Les groupes de patients ont été sélectionnés en fonction de leur âge dentaire (ou dento-alvéolaire) et non en fonction de leur âge chronologique. Tous les patients sont en dentition permanente.

En dentition permanente, la croissance dento-alvéolaire mandibulaire est négligeable. Dès l'éruption des canines, vers 12-13 ans, la dimension osseuse transversale reste stable.

Dans notre étude, nous avons déterminé une valeur de chevauchement de 5 mm comme étant la valeur théorique à partir de laquelle un traitement avec extractions pourrait être envisagé (Bernabé, 2005).

Cette valeur limite a été déterminée par Proffit, dont le livre est une référence scientifique dans le monde de l'orthodontie (Proffit, 2007).

Chaque modèle et chaque boîte de modèles ont été anonymisés avant l'étude. Aucun nom de patient n'apparaît dans l'étude. Également, tous les patients avaient signé un consentement écrit afin que l'on puisse utiliser les données chiffrées mesurées sur les modèles d'étude en plâtre.

Pour prévenir les biais de mesure, les modèles ont été mesurés de manière randomisée. Également, les modèles pré et post traitement d'une même boîte n'ont jamais été mesurés directement l'un après l'autre. Ceci a permis de réaliser les mesures en aveugle (Ormiston, 2005).

## 5.3 RÉSULTATS OBTENUS

### 5.3.1 Fiabilité des mesures

Lors du calcul des coefficients de corrélation intra-classe (ICC), nous avons obtenu pour chaque distance mesurée (A, B, C, D) une excellente fiabilité intra et inter-examineurs. En effet, les valeurs d'ICC sont toutes supérieures à 0,97.

### 5.3.2 Comparaison des distances intra-groupe

L'analyse de la variance (ANOVA) permet de déterminer si les différences de moyenne intra-groupe sont significatives.

### 5.3.2.1 Groupe complet

Pour l'ensemble des trois groupes confondus (groupe complet), les différences de variations, pré et post-traitement, concernant les distances A, B et E sont significatives ( $p=0,0017$ ).

Selon Proffit (2007), les valeurs limites concernant les variations dimensionnelles de l'arcade mandibulaires sont :

- Variation de la distance inter-canines : entre 0 et 1 mm,
- Variation de la distance inter-molaires : jusqu'à 3 mm,
- Variation de la longueur d'arcade : jusqu'à 2 mm de proclinaison incisive.

Dans notre étude, les variations dimensionnelles mesurées sont :

- Variation de la distance inter-canines (A) : 0,66 mm,
- Variation de la distance inter-molaires (B) : 1,30 mm,
- Variation de la longueur d'arcade (E) : 2,13 mm.

Ainsi chaque distance mesurée varie dans les limites fixées par Proffit (2007) et on note que la distance inter-canines est la plus stable des trois.

### 5.3.2.2 Groupe 1 : chevauchement léger

Pour le groupe 1, les différences de variations, pré et post-traitement, concernant les distances A, B et E sont non significatives.

### 5.3.2.3 Groupe 2 : chevauchement modéré

Pour le groupe 2, les différences de variations, pré et post-traitement, concernant les distances A, B et E sont non significatives.

#### 5.3.2.4 Groupe 3 : *chevauchement sévère*

Pour le groupe 3, les différences de variations, pré et post-traitement, concernant les distances A, B et E sont significatives ( $p=0,0012$ ).

Chaque distance varie dans les limites fixées par Proffit (2007), mais il y a une tendance à les dépasser. En outre, on note que la distance inter-canines est toujours la plus stable des trois :

- Variation distance A : 1,34 mm,
- Variation distance B : 2,08 mm,
- Variation distance E : 4,64 mm.

Dans ce groupe, où le chevauchement est compris entre 4 et 5 mm, les dents s'alignent en utilisant au maximum les limites de l'expansion possible au niveau mandibulaire. Ceci confirme le choix d'une valeur de 5 mm de chevauchement, comme étant la valeur théorique à partir de laquelle un traitement avec extractions pourrait être envisagé.

#### 5.3.3 Comparaison des distances inter-groupes

L'analyse de la variance (ANOVA) permet de déterminer si les différences de moyenne inter-groupes sont significatives.

De plus, nous avons comparé les groupes entre eux avec correction de Bonferroni. Nous obtenons ainsi une analyse statistique beaucoup plus stricte, car lors des comparaisons inter-groupes, les p sont multipliés par le nombre de groupes c'est-à-dire par trois. Ceci nous permet de mettre en relief les variations réellement significatives propres à notre étude.

### 5.3.3.1 *Distance inter-canines*

Nous avons montré que la distance inter-canines est très peu modifiée par le traitement orthodontique sans extraction, lorsque le chevauchement est inférieur à 5 mm pré-traitement.

En effet, pour le groupe complet et pour la comparaison entre chaque groupe, la valeur de p concernant les variations de la distance A pré et post-traitement n'est jamais significative.

### 5.3.3.2 *Distance inter-molaires*

Selon Proffit (2007), la distance inter-molaires peut varier jusqu'à une limite de 3 mm, ce qui est le cas dans notre étude avec une variation moyenne de 1,30 mm pour le groupe complet et de 2,08 mm pour le groupe 3.

En outre, la valeur de p, concernant les variations de la distance B pré et post-traitement, est égale à 0,0531 pour la comparaison entre les groupes 1 et 3.

Cette valeur de p est significative ; mais cliniquement, l'expansion molaire reste dans les limites d'expansion d'arcade déterminées par Proffit (2007).

Nous avons choisi comme repère sur la molaire la cuspide mésio-buccale pour améliorer la précision et la reproductibilité des mesures. Dans notre étude, la correction d'une rotation molaire peut donc affecter la distance inter-molaires sans représenter une expansion d'arcade proprement dite. Le marquage supplémentaire de la cuspide disto-linguale aurait pu nous indiquer la présence d'une éventuelle rotation molaire. Le choix d'un repère situé au centre de la face occlusale aurait limité ce phénomène de rotation, mais ce repère aurait été moins précis et moins facilement reproductible que celui d'une cuspide.

Il est à noter que pour quantifier l'expansion, certaines études, comme la nôtre, se limitent aux mesures des distances inter-canines et inter-molaires, tandis que d'autres quantifient également la distance inter-prémolaires. La mesure de la distance inter-

prémolaires apporterait plus de précision concernant le changement global de la forme d'arcade (De La Cruz, 1995).

### 5.3.3.3 *Longueur d'arcade*

Nous avons montré que la longueur d'arcade est la plus modifiée des trois distances par le traitement orthodontique sans extraction, lorsque le chevauchement est inférieur à 5 mm pré-traitement.

En outre, la valeur de p, concernant les variations de la longueur d'arcade pré et post-traitement, est significative pour le groupe complet ( $p=0,0000$ ), pour la comparaison entre les groupes 1 et 3 ( $p=0,0000$ ) et entre les groupes 2 et 3 ( $p=0,0009$ ). Mais cette valeur est non significative pour la comparaison entre les groupes 1 et 2.

Certaines études décrivent la longueur d'arcade de la même manière que nous, c'est-à-dire du point de contact entre les incisives centrales jusqu'à la première molaire (au niveau du point de contact mésial ou bien de la cuspidé mésio-buccale, selon les cas) (Ormiston, 2005).

Cette valeur est indiquée dans notre étude par  $E=C+D$ .

Lors de la comparaison des valeurs mesurées d'une étude à l'autre, il faut veiller à ne pas confondre la longueur d'arcade avec la profondeur d'arcade. Or, dans certaines publications, ces deux distances sont comparées comme si elles étaient géométriquement identiques (Freitas, 2004).

La profondeur d'arcade est définie comme la distance représentée par une droite passant par le milieu inter-incisives et perpendiculaire à une ligne joignant les points de contacts mésiaux des premières molaires.

L'utilisation de la longueur ou de la profondeur d'arcade va dépendre du type de support pour les mesures. En effet, il est plus difficile de mesurer la longueur d'arcade directement sur un modèle en plâtre que sur un support en deux dimensions, comme une photocopie ou une photographie (Weinberg, 1996).

Lors de l'analyse des données, il faut également noter que la longueur d'arcade est plus affectée par l'expansion molaire que la profondeur d'arcade.

Selon Proffit (2007), la proclinaison des incisives mandibulaires ne devrait pas excéder 2 mm suite au traitement orthodontique. Toutefois, concernant le montant réel de proclinaison incisive post-traitement, il faudrait pouvoir le vérifier à l'aide de la radiographie céphalométrique de profil. En effet, bien que le mouvement de distalisation des molaires mandibulaires soit plus difficile à réaliser que la proclinaison incisive, chacune de ces valeurs influence la mesure de la longueur d'arcade.

## 5.4 PERSPECTIVES D'AVENIR

Il a été assez difficile de réunir les 90 modèles en plâtre de notre étude répondant chacun aux critères définis dans le Chapitre 3, *Méthodologie*.

En effet, lors de la sélection des boîtes de modèles, il fallait que les modèles pré et post-traitement d'une même boîte répondent aux critères.

L'ensemble de l'étude a été réalisé au sein de la section d'orthodontie de l'Université de Montréal où, pour chaque cas terminé, nous cherchons à réaliser des modèles d'étude à un an post traitement. Toutefois lors de la sélection des modèles, il s'est avéré que très peu de boîtes de modèles contenaient des modèles réalisés à un an post traitement. Ceci est très certainement dû au manque de coopération des patients concernant leur suivi post-traitement.

En revanche, il serait intéressant de réaliser une étude dans le futur en période post-contention. En effet, durant la période de suivi de contention, la pérennité du résultat va dépendre en grande partie du type de traitement ; ainsi que du type de contention réalisée (fixe ou amovible), de sa durée, et de la coopération du patient quant au port des appareillages.

En général, la période du port des appareillages de contention est au minimum d'un an, mais cette période peut durer beaucoup plus longtemps en fonction de divers paramètres cliniques. La gestion de cette période est propre à chaque orthodontiste en fonction du patient et du type de traitement réalisé.

C'est en fin de contention, lors du retrait des appareillages, que la récurrence va être la plus représentative de l'instabilité du traitement orthodontique.

L'intérêt de poursuivre une étude à partir de notre groupe de patient se situe dans le choix de la quantité de chevauchement initial. En effet, tous les patients présentaient avant le traitement un chevauchement mandibulaire égal ou inférieur à 5 mm. Dans ce cas, selon Proffit (2007), la correction du chevauchement sans extraction n'entraînera pas une expansion au-delà des limites fixées par la base osseuse mandibulaire, ce qui a été montré dans notre étude. Il serait alors intéressant de savoir si la récurrence post-contention resterait elle aussi à un niveau non cliniquement significatif.

Pour conduire une telle étude, il faudrait recontacter les patients et réaliser, avec leur consentement, des empreintes en alginate pour confectionner des modèles d'étude en plâtre post-contention. Ces modèles pourraient alors être comparés avec ceux de notre étude.



# CHAPITRE SIX

## 6 CONCLUSION

## 6. CONCLUSION

- Notre étude a permis de montrer qu'au niveau mandibulaire, lors d'un traitement orthodontique sans extraction, chez un groupe de patients présentant un chevauchement inférieur à 5 mm :
  - la distance la moins modifiée est la distance inter-canines,
  - la distance la plus modifiée est la longueur d'arcade.
- La modification de la distance inter-canines n'est pas statistiquement significative.
- La modification de la distance inter-molaires est statistiquement significative, mais reste dans les limites d'expansion recommandées par Proffit (2007) ; c'est-à-dire inférieure à 3 mm.
- La modification de la longueur d'arcade est statistiquement significative. Elle a tendance à dépasser la limite d'expansion antérieure recommandée par Proffit (2007), si l'on considère qu'il y a plus de proclinaison incisive que de distalisation molaire.
- Il faut également rappeler qu'aucun patient de notre étude n'a été traité par réduction amélaire interproximale (*stripping*). Les seuls moyens pour les dents de s'aligner étaient soit par expansion transversale, soit par expansion antéropostérieure.
- Si on divise les patients de l'étude en trois groupes distincts :
  - Groupe 1 : chevauchement léger (1 à 2 mm),
  - Groupe 2 : chevauchement modéré (2,5 à 3,5 mm),
  - Groupe 3 : chevauchement sévère (4 à 5 mm).

C'est à partir du groupe 3 que l'on commence à atteindre la limite d'expansion antéropostérieure recommandée par Proffit (2007).

Selon Proffit (2007), à partir de 5 mm de chevauchement mandibulaire, il faut se poser la question d'extraire des dents ou de réaliser une réduction amélaire inter-proximale plus agressive, pour éviter une expansion alvéolo-dentaire au-delà des limites mandibulaires. Plusieurs notions guident ce choix : la fonction oro-faciale, l'esthétique faciale, la pérennité parodontale des dents et la stabilité du traitement orthodontique post-contention.

Les patients de notre étude n'ont pas subi d'expansion transversale au-delà des limites mandibulaires. Malgré tout, il serait intéressant d'évaluer par des études futures post-contention si une récurrence orthodontique a eu lieu ; particulièrement pour les patients du groupe 3, dont la longueur d'arcade a été nettement modifiée lors du traitement orthodontique.

# CHAPITRE SEPT

## 7 BIBLIOGRAPHIE

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- 1- Ainamo A, Ainamo J, Poikeus R. Continuous widening of the band of attached gingiva from 23 to 65 years of age. *J Periodontal Res* 1981;16:595-599.
- 2- Amm EW, Bou Serhal JP. La forme d'arcade selon la philosophie de Tweed Merrifield : individualisation et essai de standardisation. *Orthod Fr* 2003;74:481-98.
- 3- Andrews LF. Straight wire, the concept and appliances. San Diego : Lawrence F. Andrews Edition, 1989.
- 4- Andrews LF. The six éléments of orofacial harmony. *Andrews journal* 2000;1:13-24.
- 5- Angle EH. Classification of malocclusion. *Dent Cosmos* 1899;41:248-264.
- 6- Angle EH. Bone-growing. *Dent Cosmos* 1910;52:261-267.
- 7- Araujo E. Bolton anterior tooth size discrepancies among différent malocclusion groups. *Angle Orthod.* 2002 Jul;73(3):307-313.
- 8- Årtun J, Krogstad O. Periodontal status of mandibular incisors following excessive proclination. A study in adults with surgically treated mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:225-232.

- 9- Ayoub AF, Wray D, Moos KF, Jin J, Niblett TB, Urquhart C, Mowforth P, Siebert P. A three-dimensional imaging system for archiving dental study casts : a preliminary report. *Int J Orthodon Orthognath Surg.* 1997;12(1):79-84.
- 10- Bathia SN, Harrison VE. Operational performance of the traveling microscope in the measurement of dental casts. *Br J Orthod.* 1987 Jul;14(3):147-153.
- 11- BeGole EA. A new method for analysing change in dental arch form. *Am J Orthod.* 1998 April;113(4):394-401.
- 12- Beresfort JS. Tooth size and class distinction. *Dent Pract.* 1969 Nov;20(3):113-120.
- 13- Berkowitz S, Pruzansky S. Stereophotogrammetry of serial casts of cleft palate. *Angle Orthod.* 1968;38:136-149.
- 14- Berkowitz S. Stereophotogrammetric analysis of casts of normal and abnormal palates. *Am J Orthod.* 1971 July;60(1):1-18.
- 15- Bernabé E, Del Castillo CE, Flores-Mir C. Intra-arch occlusal indicators of crowding in the permanent dentition. *Am J Orthod.* 2005 August;128(2):220-225.
- 16- Bertrand J. Arc droit et dimension transversale : à propos de la ligne mucogingivale. Son utilisation dans la dimension transversale. Thèse Chir Dent. Lille, 2002.
- 17- Bishara SE. *Textbook of Orthodontics.* WB Saunders Co, 2001 : 592p.
- 18- Bocquet-Moreau E, Danguy C. À propos d'une charte adaptée à la forme des arcades. *Orthod Fr* 2005;76 :297-302.

- 19- Boersma H. A method for making dental casts with cold-curing polyesther resin. *J Am Dent Assoc.* 1967 May;74(6):1265-1267.
- 20- Bolton WA. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod.* 1958;28:113-130.
- 21- Bolton WA. The clinical application of a tooth-size analysis. *Am J Orthod.* 1962;48:504-529.
- 22- Bouillot R. *Cours de photographie numérique.* Paris : Dunod. 2003 : 299 p.
- 23- Brader AC. Dental arch form related to intra-oral forces : PR=C. *Am J Orthod.* 1972;61:541-561.
- 24- Braun S. The form of the human dental arch. *Angle Orthod.* 1998;68(1):29-36.
- 25- Burdi AR, Lillie JH. A catenary analysis of the maxillary dental arch form during human embryogenesis. *Anat Rec.* 1966 Jan;154(1):13-20.
- 26- Burke SP, Silveira AM, Goldsmith LJ, Yancey JM, Van Stewart A, Scarfe WC. A meta-analysis of mandibular intercanine width in treatment and postretention. *Angle Orthod.* 1998;68:53-60.
- 27- Burrow SJ. To extract or not to extract : A diagnostic decision, not a marketing decision. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008 March;133:341-342.
- 28- Burstone CJ. *Treatment Planning Syllabus,* Indiana Univ. School of Dentistry. Indianapolis, Indiana, 1967.

- 29- Burstone CJ. Dr. Charles J. Burstone on the uses of the computer in orthodontic practice (part 1). *J Clin Orthod.* 1979 Jul;13(7):442-453.
- 30- Burstone CJ. Dr. Charles J. Burstone on the uses of the computer in orthodontic practice (part 2). *J Clin Orthod.* 1979 Aug;13(8):539-551.
- 31- Burstone CJ. Problem solving in orthodontics : goal-oriented treatment strategies. Chicago : Quintessence Pub. Co., 2000:267 p.
- 32- Buschang P. Holographic storage of dental casts. *J Clin Orthod.* 1990;24:308-310.
- 33- Butcher GW, Stephens CD. The reflex optical plotter. A preliminary report. *Br Dent J.* 1981 Nov 3;151(9):304-305.
- 34- Case CS. Principles of retention in orthodontia. 1920. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:352-61.
- 35- Cauhépé J. Indépendance des dents et des maxillaires. *Orthod Fr* 1948;19:16-45.
- 36- Chabre C. Récidive et Contention. *EMC Orthopédie dento-faciale.* Elsevier, Masson. 2007.
- 37- Chateau M. *Orthopédie Dento-Faciale.* Paris : J Prélat, 1975.
- 38- Clergeau-Gherithault S. La muqueuse gingivale : structure et physiologie. *Encycl Med Chir (Elsevier, Paris), C-30,* 1985.
- 39- Currier JH. A computerized geometric analysis of human dental arch form. *Am J Orthod.* 1969;56 :164-79.



- 40- Damon DH. Treatment of the face with biocompatible orthodontics. 4th Ed. In : Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KW, editors. Orthodontics : current principles and techniques. St Louis : Elsevier-Mosby 2005. p. 753-831.
- 41- Damon DH. Formation Damon System, Montréal, QC, CA. 2007.
- 42- Danguy M. Une charte idéale pour l'arc droit : incorporation de la dimension transversale à la charte de Herbst. Rev Orthop Dento Faciale 1992;26:501-6.
- 43- De La Cruz AR, Sampson P, Little RM, Årtun J, Shapiro PA. Long- term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. Am J Orthod. 1995 May;107(5):518-530.
- 44- Denisyuk Yu N. Optics in spectroscopy. (Optics Spectroscopy). 1963;14:721p.
- 45- Dierkes JM. The beauty of the face: an orthopedic perspective. J Am Dent Assoc. 1987;(Special Issue)89E-95E.
- 46- Dirksen D, Diederichs S, Runte C, Von Bally G, Bollmann F. Tree dimensional acquisition and visualization of dental arch features from optical digitized models. J Orofac Orthop. 1998;60(2):152-159.
- 47- Dorfman HS. Mucogingival changes resulting from mandibular incisor tooth movement. Am J Orthod 1978;74:286-297.
- 48- Doual-Bisser A. Contribution à l'étude de la rééducation neuromusculaire en orthopédie dento-faciale. Thèse Doct Sci Odontol. Lille : Univ Lille 11, 1980.

- 49- Doris JM, Bernard BW, Kuftinec MM, Stom D. A biometric study of tooth size and dental crowding. *Am J Ortho*. 1981 Mar;79(3):326-336.
- 50- Enlow D. Croissance et architecture de la face. *Pédod Fr* 1974;122-144.
- 51- Enlow DH. *Crescimento Facial*. 3<sup>rd</sup> ed. São Paulo, Brazil: Artes Médicas ; 1993:127 p.
- 52- Fiorelli G, Melsen B. The "3-D occlusogram" software. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999 Sep;116(3):363-368.
- 53- Freitas KMS. Postretention relapse of mandibular anterior crowding in patients treated without mandibular premolar extraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004 Apr;125(4):480-487.
- 54- Garn SM, Lewis AB, Kerewsky RS. Sex difference in tooth shape. *J Dent Res*. 1967 Nov-Dec;46(6):1470.
- 55- Germane N. Increase in arch perimeter due to orthodontic expansion. *Am J Orthod*. 1991 Nov;100(5):421-427.
- 56- Gianelly AA. Arch width after extraction and nonextraction treatment. *Am J Orthod* 2003 Jan;123(1):25-28.
- 57- Gianelly AA. Evidence-based therapy : An orthodontic dilemma. *Am J Orthod* 2006 May;129(5):596-598.
- 58- Gilpatric WH. Arch predetermination-is it practical ? *J Am Dent Assoc*. 1923;10:553-572.

- 59- Graber TM, Vanarsdall RL. Orthodontics : Currents Principles and Techniques, 4 ed, St-Louis, 2005:1232p.
- 60- Harradine N, Suominen R, Stephens C, Hathorn I, Brown L. Holograms as substitutes for orthodontic study casts : a pilot clinical trial. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1990 Aug;98(2):110-116.
- 61- Hawley CA. Determination of the normal arch, and its application to orthodontia. Dental Cosmos. 1905;47:541-552.
- 62- Hayashi T. A mathematical analysis of the curve of dental arch. Bull Tokyo Med Dent Univ. 1956;3:175-218.
- 63- Heiser W, Richter M, Niederwanger A, Neunteufel N, Kulmere S. Association of the canine guidance angle with maxillary and mandibular intercanine widths and anterior alignment relapse : Extraction vs non extraction treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2008 May;133(5):669-680.
- 64- Hildebrand JC. Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008 Feb;133(2):283-289.
- 65- Ho CT, Freer TJ. A computerized tooth-width analysis. J Clin Orthod. 1999 Sep;33(9):498-503.
- 66- Hunter WS, Priest WR. Errors and discrepancies in measurement of tooth size. J Dent Res. 1960 Apr;39(2):405-414.

- 67- Induni S. Système 3D assisté par ordinateur : aide aux diagnostic et plan de traitement en orthodontie. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. 2002:231 p.
- 68- Izard G. New method for the determination of the normal arch by the function of the face. *Int J Orthodont.* 1927;13:582-95.
- 69- Johnson DK, Smith RJ. Smile esthetics after orthodontic treatment with and without extraction of four first premolars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:162-167.
- 70- Kawata T. Statistical and dynamical analysis of dental arch fom in adult human with normal occlusion. *J Osaka Univ School.* 1973;13:582-95.
- 71- Keating PJ, Parker RA, Keane D, Wright L. The holographic storage of study models. *Br J Orthod.* 1983 Jul;11(3):119-125.
- 72- Kim E, Gianelly A. Extraction vs Nonextraction: Arch Widths and Smile Esthetics. *Angle Orthodontist.* 2003;73(4):354-58.
- 73- Kula K. Dental arch asymmetry in children with large overjets. *Angle Orthod.* 1998;68(1):45-52.
- 74- Lavelle CL. Maxillary and mandibular tooth size in différent racial groups and in différent occlusal categories. *Am J Orthod.* 1972 Jan;6(1):29-37.
- 75- Lavelle CL. Variations in the secular changes in the teeth and dental arches. *Angle Orthod.* 1973 Oct;43(4):412-421.

- 76- Lindqvist B. A three-dimensional photographic method for documentation and measurement of dental conditions. *J Orofac Orthop.* 1997;59(2):90-99.
- 77- Little RM. The irregularity index : a quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod* 1975;68:554-563.
- 78- Little RM, Warren TR, Riedel RA. Stability and relapse of mandibular anterior alignment-first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. *Am J Orthod* 1981;80:349-365.
- 79- Little RM, Riedel RA, Årtun J. An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:423-428.
- 80- Little RM. Stability and relapse of dental alignment. *Br J Orthod* 1990;17:235-241.
- 81- Lu KH. An orthogonal analysis of the form, symmetry and asymmetry of the dental arch. *Arch Oral Biol.* 1966;11:1057-1069.
- 82- Lundström A. Intermaxillary tooth width ratio and tooth alignment and occlusion. *Acta Odontol Scand.* 1954;12:265-292.
- 83- Mansbach M. Die Stereophotogrammetrie als hilfsmittel in der orthodontie. *Zeitschrift Für Zahnärztliche Orthopadie.* 1922;4:106.
- 84- Marcotte MR. The use of the occlusogram in planning orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1976 Jun;69(6):655-667.

- 85- Martel A. Occlusogramme 3D assisté par ordinateur. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. 2006. 145 p.
- 86- Martensson B, Ryden H. The holodent system, a new technique for measurement and storage of dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992 Aug;102(2):113-119.
- 87- Maurice T. Dental arch asymmetry in the mixed dentition. *Angle Orthod.* 1998;68(1):37-44.
- 88- Mayers M. Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Oct;128(4):431-434.
- 89- Meydenbauer A. Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage, compte-rendu d'une conférence présentée au Symposium international CIPA 2001.
- 90- Mills LF, Hamilton PM. Epidemiological studies of malalignment, a method for computing dental arch circumference. *Angle Orthod.* 1965;35:244-248.
- 91- Motohashi N, Kuroda T. A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* 1999 Jun;21(3):263-274.
- 92- Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Sep;132(3)346-352.
- 93- Nance HN. Case report. *Angle Orthod.* 1941;11(2):111-122.

- 94- Nie Q, Lin J. Comparison of intermaxillary tooth size discrepancies among different malocclusion groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 Nov;116(5):539-544.
- 95- Noroozi H. The dental arch form revisited. *Angle Orthod.* 2001;71(5):386-389.
- 96- Ormiston JP, Huang GJ, Little RM. Retrospective analysis of long-term stable and unstable orthodontic treatment outcomes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Nov 128(5):568-574.
- 97- Pepe SH. Polynomial and catenary curve fits to human dental arches. *J Dent Res.* 1975;54:1124-1132.
- 98- Potter RH. Univariate versus multivariate differences in tooth size according to sex. *J Dent Res.* 1972 May-Jun;51(3):716-722.
- 99- Proffit WR. *Contemporary Orthodontics.* 4<sup>th</sup> Ed. St. Louis : Mosby;2007:751p.
- 100- Quimby ML. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod.* 2004;74:298-303.
- 101- Raberin M. Dimensions and form of dental arches in subjects with normal occlusions. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop.* 1993 July;104(1):67-72.
- 102- Remise C. *Occlusogramme. Notes de cours de la partie plan de traitement.* Université de Montréal, Orthodontie, Montréal, QC, CA. 2006.

- 103- Richardson ER, Malhotra SK. Mesiodistal crown dimension of the permanent dentition of American Negroes. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop.* 1975 Aug;68(2):157-164.
- 104- Riedel RA. *Current orthodontic concepts and techniques*, Graber TM, WB Saunders Co. 1969.
- 105- Ronay V, Miner RM, Will LA, Arai K. Mandibular arch form : The relationship between dental and basal anatomy. *Am. J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Sept;134(3): 430-438.
- 106- Rudge SJ. A computer program for the analysis of study models. *Eur J Orthod.* 1982 Nov;4(4):269-273.
- 107- Santoro M. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124:101-105.
- 108- Schirmer UR, Wiltshire WA. Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997 Dec;112(6):676-680.
- 109- Scott JH. The shape of dental arches. *J Dent Res.* 1957;36:996-1003.
- 110- Scott PJ. The reflex potters : Measurements without photographs. *Photogrammetric Record.* 1981;10:435-446.
- 111- Singh IJ, Savara BS. A method for making tooth and dental arch measurements. *J Am Dent Ass.* 1964 Dec;69:719-721.



- 112- Smith SS, Buschang PH, Watanabe E. Interarch tooth size relationships of 3 populations : "Does Bolton's analysis apply?". *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 Feb;117(2):169-174.
- 113- Stanton FL. Engineering in orthodontic diagnosis. *J Am Dent Assoc.* 1928;15:825-832.
- 114- Stanton FL, Fish GD, Ashley-Montagu MF. Description of three instruments for use in orthodontic and cephalometric investigations, with some remarks on map construction. *J D Res.* 1931:885-902.
- 115- Stewart RE, Prescott GH. *Oral Facial Genetics.* St Louis, Mo: Mosby Compagny; 1979:105-123.
- 116- Taner T. Evaluation of dental arch width and form changes after orthodontic treatment and retention with a new computerized method. *Am J Orthod.* 2004 October;126(4):464-476.
- 117- Takada K, Lowe AA, Decou R. Operational performance of the Reflex Metrograph and its applicability to the three-dimensional analysis of dental casts. *Am J Ortho.* 1983 Mar;83(3):195-199.
- 118- Tomassetti JJ. A comparaison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *Angle Orthod.* 2001 Oct;71(5):351-357.
- 119- Visessaksanti U. An easy method of checking archform and canine width. *J Clin Orthod.* 1998 Oct;32(10):608-610.
- 120- Weinberg M, Sadowsky C. Resolution of mandibular arch crowding in growing patients with Class I malocclusions treated nonextraction. *Am. J. Orthod.* 1996 Oct;110(4):359-364.

- 121- Whetten JL. Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *Am J Orthod.* 2006 Oct;130(4):485-491.
- 122- White LW. Accurate arch-discrepancy measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1977 Sept;72(3):303-308.
- 123- White LH. The clinical use of occlusograms. *J Clin Orthod.* 1982 Feb;16(2):92-103.
- 124- Witzig JW, Spahl RJ. *The Clinical Management of Basic Maxillofacial Orthopedic Appliances. Vol. 1. Mechanics.* Littleton, Mass: PSG Publishing. 1987:1-13.
- 125- Yared KFG, Zenobio EG, Pacheco W. Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:6.
- 126- Yen CH. Computer-aided space analysis. *J Clin Orthod.* 1991 Apr;25(4):236-238.
- 127- Zilberman O. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod.* 2003;73(3):301-306.