

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires

Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

Luca LOMBARDO*, Lorenzo FATTORI, Camilla MOLINARI, Davide MIRABELLA, Giuseppe SICILIANI

Postgraduate school of orthodontics, Ferrara University, 31, via Montebello, 44121 Ferrara, Italy

Available online: 23 October 2013 / Disponible en ligne : 23 octobre 2013

Summary

Introduction: The aim of this study was to identify an arch form, comprising dentition and alveolus, representative of the Caucasian population, and to compare it with the shape of the main archwires on the market.

Materials and methods: The study sample comprised 35 pairs of dental casts, taken from the arches of 35 Southern Europeans with ideal natural occlusion. After the dental casts were scanned, the reference points of the dental arches (FA points) and alveolar bone (WALA ridges) were identified with 3D software. Cartesian coordinates and intercanine and intermolar diameters were calculated for each patient, and curves representing the upper and lower dentition, as well as those showing the shape of the lower supporting bone, were traced and compared with those pertaining to different types of commonly used orthodontic archwires.

Results: Ideal shapes of the mandibular alveolus and of the upper and lower archwires were calculated and compared with those actually on the market. Statistical analysis showed significant differences between the two, particularly at the upper and lower molars and canines. Likewise, there were significant differences between the shapes of the available archwires and the WALA ridge, except for the intercanine width.

Résumé

Introduction : L'objectif de cette étude était d'identifier une forme d'arcade, comprenant les dents et l'alvéole, représentative d'une population caucasienne et de la comparer à la forme des principaux fils disponibles sur le marché.

Matériels et méthodes : L'échantillon de l'étude comprenait 35 paires de moulages dentaires réalisés à partir des arcades de 35 Européens du sud avec une occlusion naturelle idéale. Une fois les moulages scannés, les points de repère des arcades dentaires (points FA) et de l'os alvéolaire (lignes mucogingivales) ont été identifiés en utilisant un logiciel 3D. Les coordonnées cartésiennes et les largeurs intercanines et intermolaires ont été calculées chez chaque patient, et les courbes représentant les dentures supérieure et inférieure, de même que celles montrant la forme de l'os basal sous-jacent, ont été tracées et comparées avec celles de différents types de fils orthodontiques communément utilisés.

Résultats : Les formes idéales de l'alvéole mandibulaire ainsi que des arcs supérieur et inférieur ont été calculées et comparées avec les arcs orthodontiques disponibles sur le marché. L'analyse statistique a montré des différences significatives entre les deux, surtout au niveau des molaires et des canines supérieures et inférieures. De même, nous avons relevé des différences significatives entre les formes des fils disponibles et celle de la ligne mucogingivale, sauf en qui concerne la largeur intercanine.

*Correspondence and reprints / Correspondance et tirés à part.
e-mail address / Adresse e-mail : lulombardo@tiscali.it (Luca Lombardo)

Conclusions: None of the commercial archwires examined faithfully represented the shape of the 'ideal' dentition we calculated, particularly at the molars and canines. The bone structure of the mandibular support cannot be used as a guide to the shape of the arch form during orthodontic treatment.

© 2013 CEO. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved

Key-words

- Arch form.
- Archwires.
- WALA ridge.

Introduction

Over the years, numerous studies have focussed on the shape of the dental arch, the so-called arch form, due to its fundamental importance in diagnosis and treatment planning. Indeed, it influences not only smile esthetics, but also the available space and the stability of the occlusion itself [1–3]. In fact, it was this influence that led Andrews [4] to describe the arch form as the seventh key to ideal occlusion.

Unfortunately, thus far, the literature has not provided us with conclusive results regarding the possibility of effectively maintaining the initial arch form of the patient. Nonetheless, and despite the fact that reliable data regarding quantification and predictability is not yet forthcoming, the consensus appears to be that maintaining the initial arch form of the patient is a desirable aim if we want to reduce the risk of relapse [5–9]. Indeed, Lee [10] and Bishara et al. [6] have both demonstrated that the instability due to changes in the shape of the arches can lead to periodontal damage or crowding relapse, especially if the lower intercanine width is increased.

Nevertheless, it is important to bear in mind that a patient's individual arch form is the result of various genetic and environmental factors. In particular, muscle function plays an important role in determining the position of the teeth [11,12]. Although this aspect has not yet been sufficiently documented, various reports support the idea of a relationship between skeletal class and the characteristics of mandibular and maxillary arch forms. As yet, however, a comprehensive review of this issue has not been published, and the samples studied to date have been less than homogeneous [13–17], particularly as the shape of the arches is also affected by racial factors. Indeed, Caucasians tend to have narrower, deeper arches with respect to the Japanese [18] and, likewise, the arch forms recorded in America are narrower and deeper than those recorded in Israel [19] but not those in Egypt [20]. It, therefore, follows that, despite efforts to personalize the arch form on a patient-by-patient basis during treatment, it seems

Conclusions : Aucun des fils commercialement disponibles que nous avons étudiés ne représentait fidèlement la forme de la denture « idéale » que nous avons estimée, notamment au niveau des molaires et des canines. La structure de l'os basal mandibulaire ne saurait être utilisée pour guider la forme de l'arcade lors du traitement orthodontique.

© 2013 CEO. Édité par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Mots-clés

- Forme d'arcade.
- Fils orthodontiques.
- Ligne mucogingivale.

Introduction

Au cours des années, de nombreuses études se sont penchées sur la forme de l'arcade dentaire en raison de son importance fondamentale pour le diagnostic et le plan de traitement. En effet, la forme d'arcade peut influencer non seulement sur l'esthétique du sourire mais également sur l'espace disponible et sur la stabilité de l'occlusion elle-même [1–3]. Effectivement, c'est cette influence qui a conduit Andrews [4] à décrire la forme d'arcade comme étant la septième clé de l'occlusion idéale.

Malheureusement, jusqu'à présent, la littérature ne nous a pas fourni de résultats concluants concernant la conservation effective de la forme d'arcade initiale de nos patients. Néanmoins, et malgré le fait que des données fiables concernant la quantification et la prévisibilité ne soient pas encore disponibles, il semble exister un consensus en faveur du maintien de la forme d'arcade initiale du patient si nous voulons réduire le risque de récurrence [5–9]. En effet, Lee [10] et Bishara et al. [6] ont tous démontré que l'instabilité due aux changements de forme des arcades peut donner lieu à des complications parodontales ou à une récurrence d'encombrement, surtout si la largeur intercanine inférieure est augmentée.

Tout de même, il est important de tenir compte du fait que la forme des arcades de chaque patient est le résultat de divers facteurs génétiques et environnementaux. En particulier, la fonction musculaire joue un rôle important concernant la position des dents [11,12]. Cet aspect du problème n'a pas encore été suffisamment documenté. Néanmoins, divers articles soutiennent l'idée d'une relation entre la classe squelettique et les caractéristiques des formes d'arcades mandibulaires et maxillaires. Jusqu'à présent, cependant, une vue d'ensemble de ce problème n'a pas été publiée, et les échantillons étudiés jusqu'à ce jour ont été peu homogènes [13–17], surtout étant donné que la forme des arcades est également affectée par des facteurs raciaux. Effectivement, les Caucasiens ont tendance à avoir des arcades plus étroites et plus profondes que les Japonais [18] et, de la même façon, les formes d'arcades enregistrées aux États-Unis sont plus étroites et plus profondes que celles enregistrées en Israël [19] mais moins

reasonable to assume that there are certain stereotypical forms that can be adapted to the majority of cases, particularly in this era of second-generation superelastic NiTi archwires [10,21].

That being said, several authors have concluded that the archwires currently on the market are unsuitable for determining an ideal arch form [22–24]. For example, McLaughlin and Bennet [25], despite their finding that pre-adjusted appliances simplify the arch form and eliminate the need for bends in the archwire over most of the treatment, stated that they do not eliminate the need for some form of individualization. To minimize personalization measures, however, they conclude that different archwires based on different arch form templates should be selected for different patients. In particular, they describe three types of arch form: square, elliptical and tapering.

Oda et al. [26], on the other hand, set out to compare the shapes of the principal archwires on the market with the natural arch forms of a Japanese population, taking into account the presence of brackets, i.e., in-out values. The conclusion drawn in this study was that the mean width of the archwires on the market is smaller than the mean width of the natural dental arches and, therefore, to meet current orthodontic demands, the archwires should be widened by 1 to 3 mm at the canines and by 2 to 5 mm at the molars.

Despite the copious literature devoted to the topic, not only has an ideal arch form eluded us, but so has a specific method of measuring it. This, however, has not been for lack of effort since various authors have sought to identify the geometric curve that best defines the vestibular arch form [17–19,27–36]. In one of the most recent attempts, Noroozi et al. [33] concluded that beta function is an excellent representation of the dental arcade up to the second molar. Many other authors, however, maintain that the arch form is directly correlated to, and indeed dependent upon, the supporting bone structure.

In order to identify the shape and characteristics of the basal bone, Andrews and Andrews [21] proposed using certain anatomical points, i.e., those comprising the WALA ridges. These points were defined as “the most prominent points on the soft-tissue ridge immediately occlusal to the mucogingival junction”. In a recent study by Ronay et al. [37], the shape of the mandibular arch form was compared with that of the underlying basal bone, using the curves passing through the FA and WALA ridge points, respectively. The results obtained demonstrated that, despite each arch form being individual, a significant relationship does exist between the curve of the lower dentition and that of its bony support.

que celles enregistrées en Égypte [20]. Il s'ensuit, par conséquent, malgré les efforts de customisation en cours de traitement de la forme de l'arcade de chaque patient, qu'il est raisonnable de supposer qu'il existe certaines formes stéréotypiques qui peuvent être adaptées à la majorité de cas, surtout en cette époque des fils NiTi superélastiques de deuxième génération [10,21].

Cela étant dit, plusieurs auteurs ont conclu que les fils actuellement disponibles sur le marché ne permettent pas de déterminer une forme d'arcade idéale [22–24]. À titre d'exemple, McLaughlin et Bennet [25], tout en trouvant que les appareils préajustés simplifient la forme d'arcade et éliminent la nécessité de plier les fils pendant une partie importante du traitement, ont soutenu qu'ils requièrent tout de même une part d'individualisation. Cependant, afin de minimiser ces mesures de personnalisation, ils ont conclu au besoin de sélectionner des fils différents pour chaque patient en fonction de leur type de forme d'arcade. Plus précisément, ils ont décrit trois sortes de forme d'arcade : carrée, elliptique et fuselée.

En revanche, Oda et al. [26] ont cherché à comparer la forme des principaux fils sur le marché avec les formes d'arcades naturelles d'une population japonaise, en tenant compte de la présence de brackets, à savoir, des valeurs « in-out ». L'étude a conclu que la largeur moyenne des fils sur le marché était inférieure à la largeur moyenne des arcades naturelles et, par conséquent, que les fils devaient être élargis de 1 à 3 mm au niveau des canines et de 2 à 5 mm au niveau des molaires.

Malgré la littérature abondante consacrée à ce sujet, non seulement nous n'avons pas su déterminer une forme d'arcade idéale mais nous n'avons pas pu non plus concevoir une méthode spécifique pour la mesurer. Et cela malgré les efforts considérables de nombreux auteurs qui ont cherché à identifier la courbe géométrique qui définit le mieux la forme vestibulaire de l'arcade [17–19,27–36]. Dans l'une des études les plus récentes, Noroozi et al. [33] ont conclu que la fonction bêta donne une représentation de l'arcade dentaire jusqu'à la deuxième molaire. Beaucoup d'autres auteurs, cependant, ont soutenu que la forme de l'arcade est en corrélation directe avec la structure des os sous-jacents, et serait directement dépendante de celle-ci.

Afin d'identifier la forme et la particularité de l'os basal, Andrews et Andrews [21] ont proposé l'utilisation de certains points anatomiques, à savoir, ceux qui constituent les lignes mucogingivales (en anglais « WALA ridge », d'après les initiales de Will et Larrie Andrews [N du T]). Ces points ont été définis comme étant « les points les plus proéminents sur la crête de tissus mous immédiatement occlusaux par rapport à la jonction mucogingivale ». Dans une étude récente de Ronay et al. [37], la conformation de la forme d'arcade mandibulaire a été comparée à celle de l'os basal sous-jacent à l'aide des courbes passant, respectivement, par les points FA (anglais : « facial axis » [N du T]) et la ligne mucogingivale. Les résultats obtenus montrent, que, malgré les différences entre les formes d'arcades individuelles, il existe une relation significative entre la courbe de la denture inférieure et celle de sa base osseuse.

Following on from the above-mentioned works, we decided to compare the natural upper and lower arch forms of untreated Italian subjects with the shape of the main archwires on the market, taking into account the in-out values of the brackets. In addition, we intended to evaluate the shape of the supporting mandibular bone (WALA ridge) with respect to the lower dental arch form (FA points) and the shape of the principal orthodontic archwires.

Materials and methods

Thirty-five patients (21 females and 14 males) were selected, all Italian Caucasian adults. Subjects presented at least four out of the six Andrews' keys to ideal occlusion, as described in a study conducted by Trivinio et al. [23]; the first key (Class I molar relationship) was present in all patients. Dental crowding was evaluated in a precise and reliable manner based on Little's Index [38] and patients with a value greater than 3 were excluded. Patients presenting diastemas greater than 1 mm and those with an irregular or slightly collapsed arch form were also excluded. Thus, our sample consisted of patients with a regular arch form, Little's Index 0–3 and diastemas of less than 1 mm.

Plaster models were created of the dentition of each patient, and were then digitized using an optical scanner (3Shape RD640 3D scanner; EMS Digital Solutions, Dublin, Ireland). The digitized renderings were analysed using Rhinoceros software (fig. 1). Each model was oriented on a Cartesian grid (C plane) so that the *x*-axis was tangential to the

À la suite des travaux mentionnés ci-dessus, nous avons décidé de comparer les formes des arcades naturelles supérieure et inférieure de sujets italiens non traités avec la forme des principaux fils disponibles sur le marché en tenant compte des valeurs « in-out » des brackets. Par ailleurs, nous avons voulu évaluer la forme de l'os mandibulaire sous-jacent (ligne mucogingivale) par rapport à la forme de l'arcade dentaire inférieure (points FA) ainsi qu'à la forme des principaux fils orthodontiques.

Matériaux et méthodes

Trente-cinq patients (21 femmes et 14 hommes) ont été sélectionnés, tous des adultes italiens caucasiens. Les sujets présentaient au moins quatre des six clés d'Andrews de l'occlusion idéale, décrite dans une étude menée par Trivinio et al. [23]. La première clé (une relation molaire de Classe I) était présente chez tous les patients. L'encombrement dentaire a été évalué d'une manière précise et fiable à l'aide de l'indice d'irrégularité de Little [38] et les patients ayant un score supérieur à 3 ont été exclus. Les patients présentant des diastèmes supérieurs à 1 mm et ceux avec une forme d'arcade irrégulière ou légèrement effondrée ont été exclus. Ainsi, notre échantillon comprenait des patients possédant une forme d'arcade régulière, un indice de Little de 0-3 et des diastèmes de moins de 1 mm.

Des modèles en plâtre ont été fabriqués à partir de la denture de chaque patient avant d'être numérisés au moyen d'un scanner optique (3Shape RD640 3D scanner ; EMS Digital Solutions, Dublin, Irlande). Les modèles numérisés ont été analysés à l'aide du logiciel Rhinocéros (fig. 1). Chaque modèle a été orienté sur une grille cartésienne (plan C) de sorte

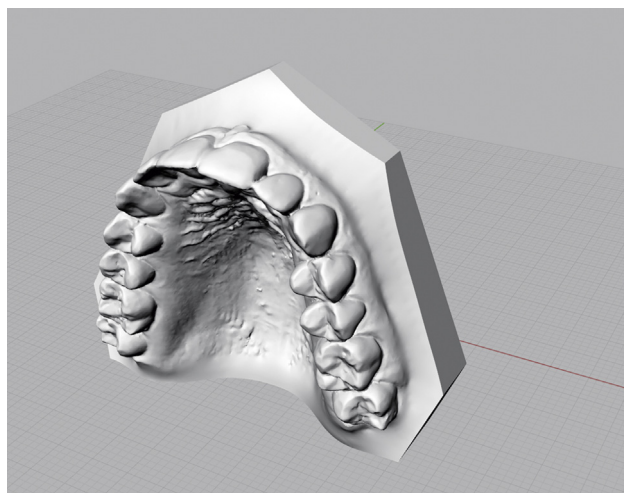


Fig. 1: Example of upper arch digitized and analyzed by means of Rhinoceros software.

Fig. 1 : Exemple d'une arcade supérieure numérisée et analysée à l'aide du logiciel Rhinoceros.

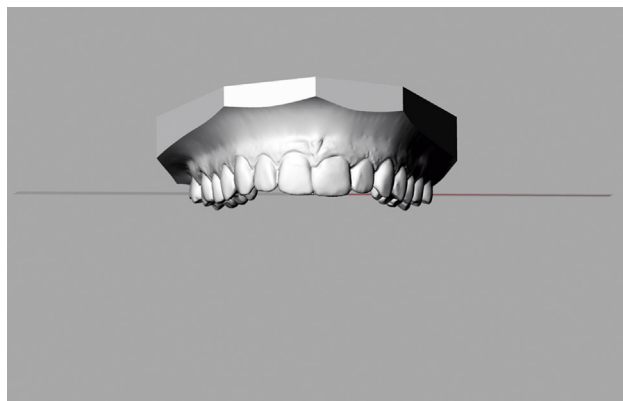


Fig. 2: Model positioned on the C plane.

Fig. 2 : Modèle positionné sur le plan C.

distal margin of the first or second molars (*fig. 2*) and the y -axis coincident with the midline (*fig. 3*). In order to simulate the position of the brackets on the FA points, virtual spheres [23] whose diameter was equal to the in-out values found by Andrews [4] were positioned (*Table I*) (*figs. 4–7*). Additional spheres 2 mm in diameter were placed on the WALA ridge points of the lower arch (*figs. 8 and 9*). Each arch was divided into two equal sections, mirror images of which were also obtained so as to obtain perfectly symmetrical versions of the slightly asymmetrical real arches. Seventy curves each were thereby obtained for the upper FA, lower FA and lower WALA ridge points, whose Cartesian coordinates were calculated for each tooth. To perform the arch form measurements, we drew inspiration from the article by Oda et al. [26] evaluating canine thickness, molar thickness (first molars), intercanine width and intermolar width (first molars). Several common archwires were selected for comparison with the natural

que l'abscisse soit tangentielle à la marge distale des premières ou des deuxième molaires (*fig. 2*) et que l'axe des ordonnées coïncide avec la ligne médiane (*fig. 3*). Afin de simuler la position des brackets sur les points FA, des sphères virtuelles [23] avec des diamètres égaux aux valeurs « in-out » trouvées par Andrews ont été placées (*Tableau I*) (*fig. 4–7*). Des sphères additionnelles de 2 mm de diamètre ont été positionnées sur les points de la ligne mucogingivale de l'arcade inférieure (*fig. 8–9*). Chaque arcade a été divisée en deux segments de longueur égale et des images en miroir ont été obtenues afin de disposer de versions parfaitement symétriques des vraies arcades avec leurs légères asymétries. Ainsi, 70 courbes ont été obtenues pour le FA supérieur, le FA inférieur et les points de la ligne mucogingivale inférieure, dont les coordonnées cartésiennes ont été calculées pour chaque dent. Pour mesurer les formes d'arcades, nous nous sommes inspirés de l'article d'Oda et

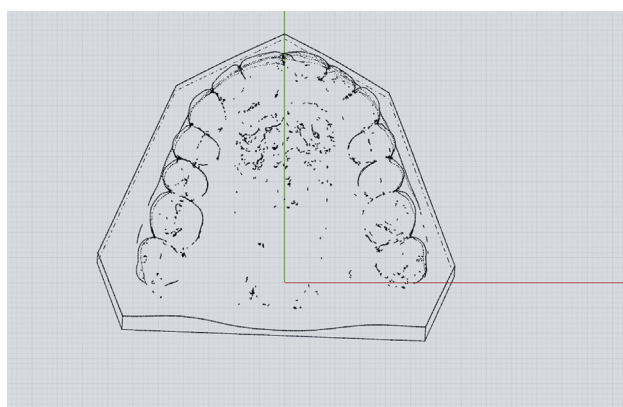


Fig. 3: Model positioned with respect to reference Cartesian coordinates.

Fig. 3 : Modèle positionné par rapport aux coordonnées cartésiennes de référence.

Table I

Mean in-out values according to Andrews.

Teeth/ <i>Dents</i>	Central incisor/ <i>Incisive centrale</i>	Lateral incisor/ <i>Incisive latérale</i>	Canine	First premolar/ <i>Première prémolaire</i>	Second premolar/ <i>Seconde prémolaire</i>	First molar/ <i>Première molaire</i>	Second molar/ <i>Seconde molaire</i>
Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	1.8	2.25	1.4	1.5	1.5	1	1
Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	2.3	2.3	1.6	1.15	1.15	1	1

Tableau I

Valeurs « in-out » moyennes selon Andrews.

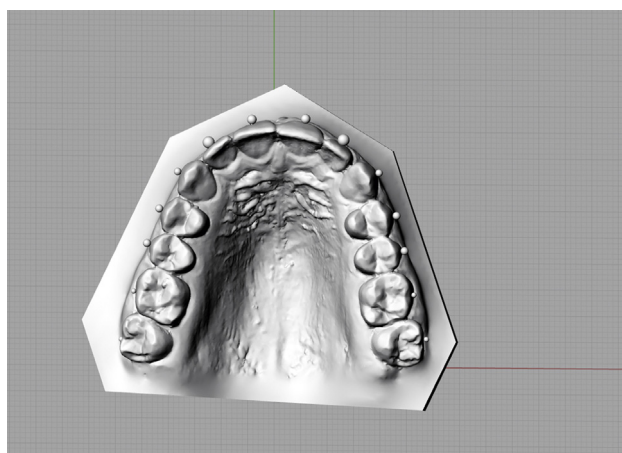


Fig. 4: Upper arch with in-out spheres at FA points, occlusal view.

Fig. 4 : Arcade supérieure avec sphères « in-out » aux points FA, vue occlusale.

arch form: Damon (same shape and size for upper and lower dentition), MBT (ovoid, square and tapered), Roth (ideal and accu-form), Alexander (upper, lower large and lower small) and ID-FORM (small, medium and large). To permit measurement, these wires were scanned using the same technique as for the plaster models. The intercanine and intermolar widths of each archwire were calculated, taking into account the mean molar and canine thicknesses measured on the patients' arch form.

al. [26] où il évalue l'épaisseur des canines, l'épaisseur des molaires (premières molaires), la largeur intercanine et la largeur intermolaire (premières molaires). Plusieurs arcs bien connus ont été sélectionnés pour comparaison avec la forme d'arcade naturelle : Damon (formes et dimensions uniques pour les dentures supérieure et inférieure), MBT (ovoïde, carrée et effilée), Roth (idéal et accu-form), Alexander (supérieure, upper, inférieur grand et inférieur petit) et ID-FORM (petit, moyen et grand). Afin de mesurer ces arcs, nous les avons scannés en utilisant la même technique que pour les modèles en plâtre. Les largeurs intercanine et intermolaire ont été calculées en tenant compte des épaisseurs moyennes des molaires et des canines mesurées sur les formes d'arcades des patients.

Statistical analysis

To evaluate the repeatability of measurements, Dahlberg's error was calculated for both the *x*-axis and *y*-axis

Analyse statistique

Pour évaluer la reproductibilité des prises de mesure, l'erreur de Dahlberg a été calculée sur 15 modèles pour obtenir les

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires
 Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

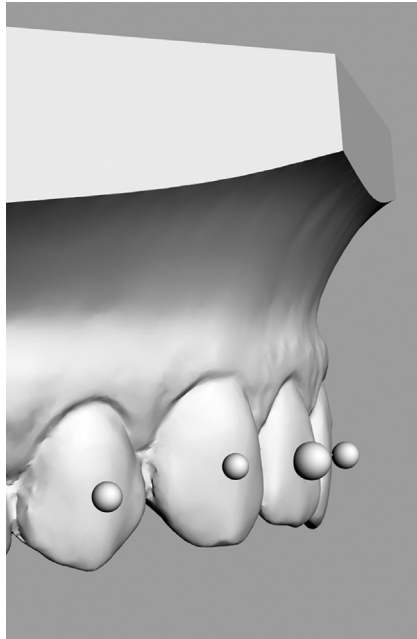


Fig. 5: Upper arch with in-out spheres at FA points, front view.

Fig. 5 : Arcade supérieure avec sphères « in-out » aux points FA, vue frontale.

measurements, analysing repeated measurements on 15 models. At the same time, the P -value was calculated using the t -test for repeated measurements.

Statistical analysis was conducted in two parts, one a descriptive analysis to represent the arch form at the FA points and the WALA ridges, and the second comparing these arch forms with the shape of the orthodontic wires on the market.

In the first part, we performed a cluster analysis to verify whether there were any distinct groups of homogeneous

valeurs de l'abscisse et des ordonnées. En même temps, la valeur p a été calculée à l'aide du test- t pour mesures répétées.

L'analyse statistique a été effectuée en deux temps : d'abord, une analyse descriptive pour représenter la forme de l'arcade aux points FA et aux lignes mucogingivales ; ensuite, une comparaison de ces formes d'arcades avec la forme des arcs orthodontiques commercialement disponibles.

Dans la première partie, nous avons réalisé une analyse de clusters pour vérifier s'il existait des groupes distincts de

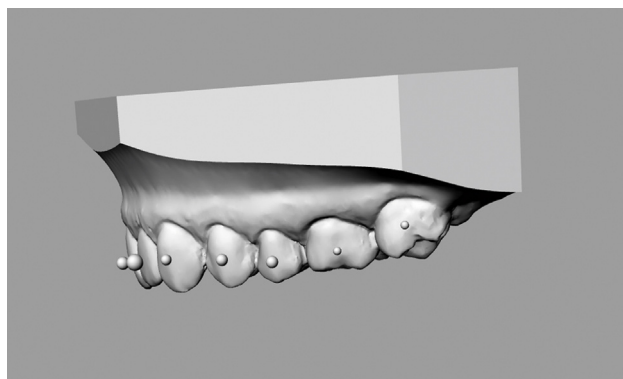


Fig. 6: Upper arch with in-out spheres at FA points: detail.

Fig. 6 : Arcade supérieure avec sphères « in-out » aux points FA : détail.

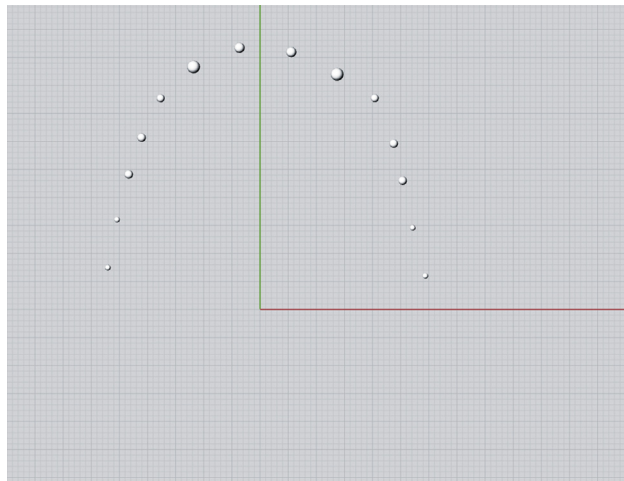


Fig. 7: Cartesian coordinates of FA points.

Fig. 7 : Coordonnées cartésiennes des points FA.

subject measurements. In general, a cluster analysis seeks to fulfil two objectives, the first to define the distance between statistical units and the second to determine the number of clusters and to assign each statistical unit to its corresponding cluster.

In our study, two types of cluster analysis were used: the *K*-means and PAMK algorithms. For each algorithm, the distance between the two statistical observations x_1 and x_2 is

defined as $d(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{1j} - x_{2j})^2}$. This formula is

the multivariate version of the Euclidean distance applied to the vector space defined by the *J* variables measured on the statistical units under consideration. The *K*-means and PAMK

mesures de sujets homogènes. De façon générale, une analyse de clusters cherche à atteindre deux objectifs. Le premier consiste à définir la distance entre les unités statistiques et le deuxième à déterminer le nombre de clusters et d'attribuer chaque unité statistique à son cluster correspondant.

Dans notre étude, nous avons utilisé deux types d'analyse de clusters : les algorithmes des *K*-moyennes et de PAM. Pour chaque algorithme, la distance entre les deux observations

x_1 et x_2 est définie comme suit : $d(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{1j} - x_{2j})^2}$.

Cette formule est la version multivariée de la distance euclidienne appliquée à l'espace vectoriel défini par les variables *J* mesurées sur les unités statistiques étudiées. Les méthodes



Fig. 8: Identification of WALA ridge points.

Fig. 8 : Identification des points de la ligne WALA.

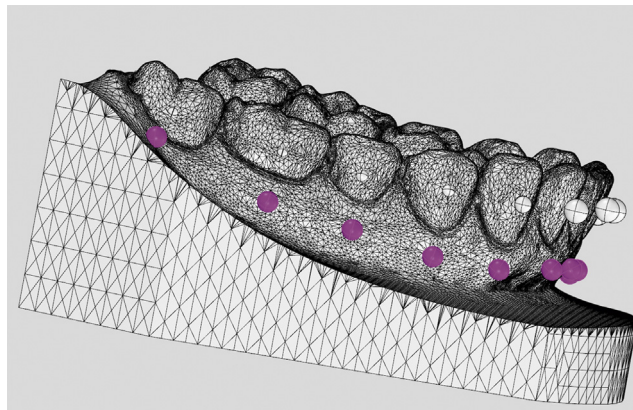


Fig. 9: Position of WALA ridge and FA points showing mesh.

Fig. 9 : Position de la ligne WALA et des points FA montrant le maillage.

algorithm approaches for clusterization of the observations are very similar, and can be summarized as follows:

- prior choice of the number of clusters by the analyst;
- random assignment of cluster centres;
- calculation of the distance of each observation from each of the cluster centres and assignment of that observation to the cluster with the nearest centre;
- updating of the cluster centres; at this stage, the K-means and PAMK algorithms diverge. While in the K-means algorithm the cluster centre is the vector of the mean of the observations assigned to that cluster, PAMK uses a more complex approach in which medoids (representative points) are defined. Readers are referred to specialist literature for details but, in general, the PAMK approach is considered preferable to K-means due to its superior robustness in the presence of anomalous values;

— repetition of points 3 and 4 until there is no appreciable numerical change in the cluster centres.

As regards the choice of cluster number, this is governed by the following principles:

- the solution must be interpretable. A high number of clusters, despite grouping homogeneous observations, is not easy to interpret;
- observations within clusters must be homogeneous. Internal homogeneity was evaluated using, first, the silhouette approach and, then multivariate analysis of variance by assuming that the solutions have been determined for 1,2,..., i ,... clusters.

In the silhouette approach, the optimal number of clusters i^* is the solution that maximizes the mean silhouette. The mean silhouette is defined as the mean of the size $s(j) = \frac{b(j) - a(j)}{\max[a(j), b(j)]}$, where $a(j)$ is the mean of the distances from the observation j to all the other measurements in its cluster, and $b(j)$ the mean of the distances from the observation

utilisant les algorithmes des moyennes-K et de PAM pour déterminer la clustérisation des observations sont très similaires et peuvent être résumées de la manière suivante :

- choix préalable du nombre de clusters par l'analyste ;
- attribution randomisée des centres de clusters ;
- calcul de la distance des observations de chacun des centres de clusters et attribution de cette observation au cluster avec le centre le plus proche ;
- mise à jour des centres de clusters ; à ce stade, les algorithmes des moyennes-K et de PAM divergent. Alors que le centre de cluster dans l'algorithme des moyennes-K est le vecteur de la moyenne des observations attribuées à ce cluster, le PAM utilise une approche plus complexe où les médoïdes (points représentatifs) sont définis. Pour plus de détails, les lecteurs sont invités à consulter la littérature spécialisée. Néanmoins, de façon générale, la méthode PAM est tenue pour être préférable à la méthode des moyennes-K en raison de sa plus grande robustesse en présence de valeurs aberrantes ;
- répétition des points 3 et 4 jusqu'à la stabilisation du nombre de centres de clusters.

Le choix du nombre de clusters, pour sa part, est gouverné par les principes suivants :

- la solution doit être apte à être interprétée. Un nombre élevé de clusters est difficile à interpréter en dépit du regroupement des observations homogènes ;
- les observations à l'intérieur des clusters doivent être homogènes. L'homogénéité interne a été évaluée en utilisant, d'abord, l'approche silhouette et, ensuite, une analyse multivariée de la variance en supposant que les solutions ont été déterminées pour 1,2,..., i ,... clusters.

Dans l'approche silhouette, le nombre optimal de clusters i^* est la solution qui détermine la silhouette moyenne. La silhouette moyenne est définie comme la moyenne de la taille $s(j) = \frac{b(j) - a(j)}{\max[a(j), b(j)]}$, où $a(j)$ est la moyenne des distances depuis l'observation j vers toutes les autres mesures à l'intérieur du cluster. Comme $s(j)$ définit une sorte de « justesse de

j to all the other measurements not in its cluster. As $s(j)$ defines a kind of “goodness of clusterization” of the observation j , the solution with the optimal number of clusters is that which features the highest mean value of $s(j)$. This approach is employed in the implementation of PAMK using R software. In the multivariate analysis of variance approach, the complement to one of the multivariate R^2 is calculated. In descriptive statistics, R^2 is the relationship between the explained variance and the total variance, and measures the degree to which the clustering of the observations explains the variability of the data. Meaning represents the amount of variability not explained by the clusterization. When several variables are

observed on one statistical unit, $\bar{R}^2(i) = \sum_{j=1}^J R_j^2(i)$, where J is

the number of variables and I the number of groups. An approach often used to decide the number of groups of the K -means algorithm is to represent the size $1 - \bar{R}^2(i)$ as a function of i . In general, this relationship tends towards 0 as i increases, but this diminution is slower for high values of I . The optimal number of clusters is that beyond which the size appears to decrease to a far lesser extent with respect to the preceding value of I .

In our case, each subject (observation) is defined by $14 \times 2 \times 3 \times 2 = 168$ dimensions, corresponding to 14 teeth, two coordinates x and y , three groups of observation (lower, upper and WALA ridge) and two mirrored sides (left and right).

Determination of a suitable number of clusters represents a decision for which no standard approach exists. In our study, we identified as possibilities two or three clusters, using two distinct methods: K -means and PAMK.

As previously mentioned, the second part of the analysis was to compare several commercially available archwires with the sample as a whole. To this end, LOESS regression (local polynomial curves/smoothing) was used, given that the dental arch represents a functional form that is difficult to approximate using simple regression (linear or successive). The advantage of local polynomial curves is the possibility of interpolating, in a flexible and robust way, functions for which it is difficult to find a standard theoretical analytical expression, e.g., the shape of the dental arches. Three local polynomial functions were estimated: one for the upper dentition, one for the lower dentition, and one for the WALA ridge. To calculate the discrepancy between these interpolation curves and those of the commercial archwires, a one-way t -test was used to compare the sample mean with the measurement of each archwire, assumed as the reference measurement. This procedure was performed for the upper arch, lower arch and WALA ridge, for both the intercanine and intermolar distances.

Significance was set at a P -value of 0.05 (5%).

clusterization » de l'observation j , la solution ayant le nombre optimal de clusters est celui qui possède la valeur moyenne la plus élevée de $s(j)$. Cette approche est employée dans l'implémentation de PAM à l'aide du logiciel R.

Dans l'analyse multivariée de la variance, le complément de l'un des F^2 multivariés est calculé. Dans la statistique descriptive, F^2 est la relation entre la variance expliquée et la variance totale et mesure le degré auquel la clusterisation des observations explique la variabilité des données. L'écart représente la quantité de variabilité non expliquée par la clusterisation. Lorsque plusieurs variables sont observées en une seule unité

statistique, $\bar{R}^2(i) = \sum_{j=1}^J R_j^2(i)$, où J est le nombre de variables et I

le nombre de groupes. Une approche souvent utilisée pour décider du nombre de groupes dans l'algorithme des moyennes- K consiste à représenter la taille $1 - \bar{R}^2(i)$ comme une fonction de i . En général, à mesure que i augmente, cette relation tend vers 0, quoique cette diminution se fasse plus progressivement pour les valeurs élevées de I . Le nombre optimal de clusters est celui au-delà duquel la taille semble diminuer à un degré bien inférieur à la valeur précédente de I .

Dans notre cas, chaque sujet (observation) est défini par $14 \times 2 \times 3 \times 2 = 168$ dimensions, correspondant à 14 dents, deux coordonnées x et y , trois groupes d'observation (inférieur, supérieur et ligne mucogingivale) et deux côtés en effet de miroir (gauche et droite).

La détermination du nombre adéquat de clusters constitue une décision pour laquelle il n'existe pas de méthode standardisée. Dans notre étude, nous avons identifié deux ou trois clusters possibles en utilisant deux méthodes distinctes, les moyennes- K et le PAM.

Comme mentionné ci-dessus, la deuxième partie de l'analyse a consisté à comparer plusieurs arcs orthodontiques commercialement disponibles avec l'échantillon dans son ensemble. À cette fin, la régression de LOESS (courbes polynomiales locales/lissage) a été utilisée, étant donné que l'arcade dentaire représente une forme fonctionnelle qu'il est difficile d'approcher en utilisant la régression simple (linéaire ou successive). L'avantage des courbes polynomiales locales est que cette méthode permet d'interpoler, de façon souple et robuste, des fonctions pour lesquelles il est difficile de trouver une expression analytique théorique standard, par exemple, la forme des arcades dentaires. Trois fonctions polynomiales locales ont été calculées ; une pour la denture supérieure, une pour la denture inférieure et une pour la ligne mucogingivale. Pour calculer la disparité entre ces deux courbes d'interpolation et celles des fils commerciaux, nous avons réalisé un test- t unilatéral pour comparer la moyenne de l'échantillon avec les valeurs de chaque fil, prises comme mesures de la référence. Ce procédé a été effectué sur l'arcade supérieure, l'arcade inférieure et la ligne mucogingivale, pour les distances canine et intermolaire.

La significativité a été établie à une valeur p de 0,05 (5 %).

Results

As regards the repeatability of measurements, analysis showed that measurements were substantially repeatable, as no *P*-value was lower than the critical threshold of 0.05, and the maximum error was quantifiable as 0.13 on the *x*-axis and 0.13 on the *y* (Table II).

Concerning the cluster analysis, Graph 1 (fig. 10) shows that using the multivariate indicator R^2 , the three-cluster solution was optimal. With the silhouette indicator as part of the PAMK algorithm in the FPC package of R software [39], the number of optimal clusters was found to be two. In the end, we opted for the two-cluster solution, as, in addition to being the easier to interpret, the literature indicates that the PAMK algorithm is more robust than the better-known *K*-mean. Due to the small size of the sample, a distinct data set was not used to determine the cluster centroids.

Tables III–V (lower, upper and WALA ridge coordinates, respectively) show the descriptive statistics of the 14 coordinates on the ordinate within the two clusters and in the entire sample. The *P*-value yielded by Wilcoxon's test to verify the statistical significance of the difference in mean values of the coordinates is also given.

Graph 2 (fig. 11) shows the mean values of the coordinates within each cluster. The graph highlights the fact that two

Table II

Analysis of reproducibility.

<i>x</i> coordinates/ <i>Coordonnées x</i>			<i>y</i> coordinates/ <i>Coordonnées y</i>		
Measure/ <i>Mesure</i>	Dahlberg	<i>P</i> -value	Measure/ <i>Mesure</i>	Dahlberg	<i>P</i> -value
x_1	–	1.00	y_1	–	1.00
x_2	0.13	0.16	y_2	0.09	0.33
x_3	0.09	0.33	y_3	0.13	1.00
x_4	0.09	0.33	y_4	0.09	0.33
x_5	–	1.00	y_5	0.09	0.33
x_6	0.09	0.33	y_6	0.09	0.33
x_7	0.09	0.33	y_7	0.09	0.33
x_8	0.09	0.33	y_8	0.09	0.33
x_9	0.09	0.33	y_9	0.09	0.33
x_{10}	–	1.00	y_{10}	0.09	0.33
x_{11}	0.09	0.33	y_{11}	0.09	0.33
x_{12}	0.09	0.33	y_{12}	0.13	1.00
x_{13}	0.13	0.16	y_{13}	0.09	0.33
x_{14}	–	1.00	y_{14}	–	1.00

Résultats

Concernant la reproductibilité des mesures, l'analyse a montré que les mesures pouvaient, dans une très grande mesure, être répliquées puisqu'aucune valeur *p* n'était inférieure au seuil critique de 0,05, et que l'erreur maximale était de 0,13 sur l'axe des abscisses et de 0,13 sur les ordonnées (Tableau II).

Quant à l'analyse de clusters, le Graphique 1 (fig. 10) montre que, en utilisant l'indicateur multivarié R^2 , la solution à trois clusters était optimale. À l'aide de l'indicateur de silhouette intégré dans l'algorithme PAM dans le package FPC du logiciel R [39], nous avons trouvé que le nombre de clusters optimal était de deux. En fin de compte, nous avons opté pour la solution à deux clusters puisque, en plus d'être plus facile à interpréter, la littérature indique que l'algorithme PAM est plus robuste que celui, plus connu, des moyennes-*K*. En raison de la petite taille de l'échantillon, un groupe de données distinct n'a pas été utilisé pour déterminer les centroïdes de cluster.

Les Tableaux III–V (coordonnées de l'inférieure, de la supérieure et de la ligne mucogingivale, respectivement) montrent les statistiques descriptives des 14 coordonnées sur l'axe des ordonnées dans les deux clusters et pour l'ensemble de l'échantillon. La valeur *p* fournie par le test de Wilcoxon afin de vérifier la significativité de la différence entre les valeurs moyennes des coordonnées est montrée.

Le Graphique 2 (fig. 11) affiche les valeurs moyennes des coordonnées à l'intérieur de chaque cluster. Le graphique

Tableau II

Analyse de reproductibilité.

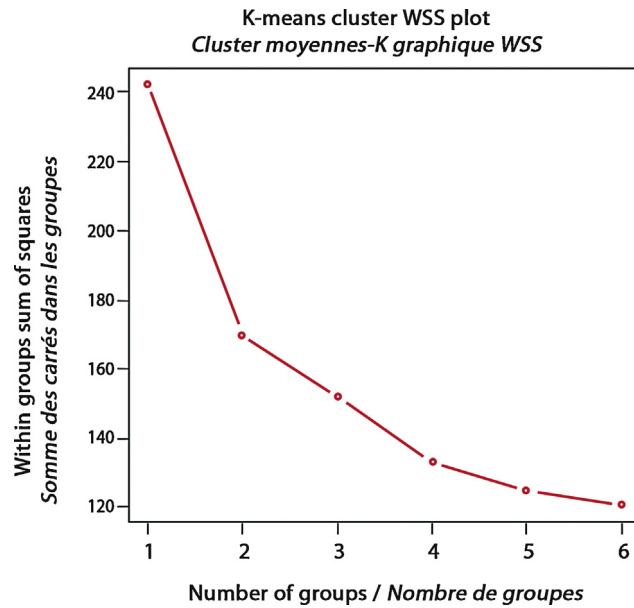


Fig. 10: Variance by number of clusters.
 Fig. 10 : Variance par nombre de clusters.

groups of subjects can be distinguished: those with arches of small area and those with arches of large area.

Three local multinomial functions were estimated: one for the lower arch, one for the upper arch, and one for the WALA ridge. The parameters used for the LOESS regression were as follows:

— span: 0.3, i.e. each local function was estimated on 30% of the most contiguous observations in the dataset. This percentage was chosen with discretion by trial and error, weighing the

souligne le fait que les deux groupes de sujets peuvent être divisés en deux catégories : ceux ayant des arcades de petite superficie ou de superficie plus importante.

Trois fonctions multinomiales locales ont été calculées : une pour l'arcade inférieure, une pour l'arcade supérieure et une pour la ligne mucogingivale. Les paramètres utilisés pour la régression LOESS étaient les suivants :

— portée : 0,3, i.e., chaque fonction locale a été estimée à partir de 30 % des observations les plus contiguës dans le jeu de données. Ce pourcentage a été sélectionné de façon

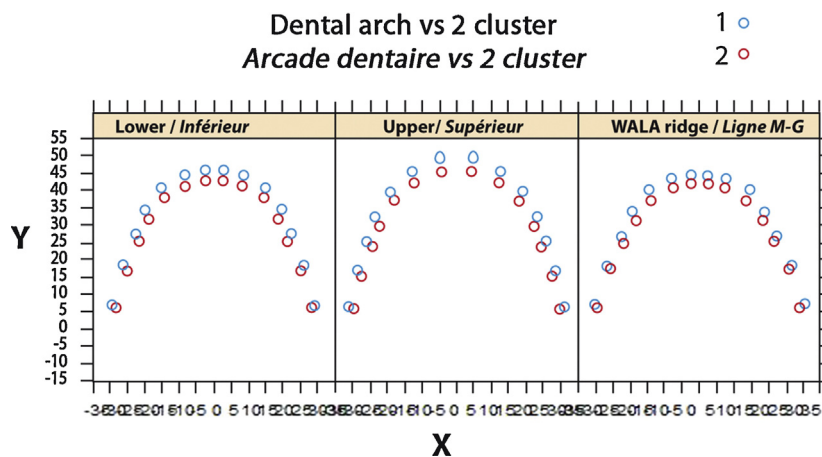


Fig. 11: Dental arches, two-cluster solution.

Fig. 11 : Arcades dentaires, solution à deux clusters.

Table III

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the lower arch.

Tableau III

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade inférieure.

Variable	Area concerned/ <i>Zone concernée</i>	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
x_1	1	39	29.4	1.2
	2	31	28.3	1.5
	$P = 0.0016773$	All/Ensemble	70	28.9
x_2	1	39	26.1	1.2
	2	31	25.0	1.2
	$P = 0.00070754$	All/Ensemble	70	25.7
x_3	1	39	22.6	1.0
	2	31	21.5	1.0
	$P = 0.0001028$	All/Ensemble	70	22.1
x_4	1	39	-19.7	0.8
	2	31	18.9	0.9
	$P = 0.00034147$	All/Ensemble	70	19.3
x_5	1	39	15.2	0.9
	2	31	14.2	0.8
	$P < 0.0001$	All/Ensemble	70	14.7
x_6	1	39	8.5	0.6
	2	31	8.1	0.6
	$P = 0.0040861$	All/Ensemble	70	8.3
x_7	1	39	2.7	0.6
	2	31	-2.6	0.5
	$P = 0.58203$	All/Ensemble	70	2.7
x_8	1	39	2.7	0.6
	2	31	2.6	0.5
	$P = 0.58203$	All/Ensemble	70	2.7
x_9	1	39	8.5	0.6
	2	31	8.1	0.6

Table III

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the lower arch. (following)

Tableau III

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade inférieure. (suite)

Variable	Area concerned/ <i>Zone concernée</i>	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
$P = 0.0040861$	All/Ensemble	70	8.3	0.6
x_{10}	1	39	15.2	0.9
	2	31	14.2	0.8
$P < 0.0001$	All/Ensemble	70	14.7	0.9
x_{11}	1	39	19.7	0.8
	2	31	18.9	0.9
$P = 0.00034147$	All/Ensemble	70	19.3	0.9
x_{12}	1	39	22.6	1.0
	2	31	21.5	1.0
$P = 0.0001028$	all	70	22.1	1.1
x_{13}	1	39	26.1	1.2
	2	31	25.0	1.2
$P = 0.00070754$	All/Ensemble	70	25.7	1.3
x_{14}	1	39	29.4	1.2
	2	31	28.3	1.5
$P = 0.0016773$	All/Ensemble	70	28.9	1.5

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
y_1	1	39	7.0	1.0
	2	31	6.4	0.6
$P = 0.002515$	Overall/Global	70	6.7	0.9
y_2	1	39	18.6	1.0
	2	31	17.1	0.9
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	17.9	1.2
y_3	1	39	27.2	1.0
	2	31	25.1	1.0
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	26.3	1.4

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires
 Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

Table III

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the lower arch. (following)

Tableau III

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade inférieure. (suite)

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
y_4	1	39	34.3	1.0
	2	31	31.8	1.1
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	33.2	1.6
y_5	1	39	40.6	1.3
	2	31	37.9	1.3
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	39.4	1.9
y_6	1	39	44.3	1.5
	2	31	41.5	1.2
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	43.0	2.0
y_7	1	39	45.8	1.3
	2	31	42.9	1.3
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	44.5	2.0
y_8	1	39	45.8	1.3
	2	31	42.9	1.3
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	44.5	2.0
y_9	1	39	44.3	1.5
	2	31	41.5	1.2
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	43.0	2.0
y_{10}	1	39	40.6	1.3
	2	31	37.9	1.3
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	39.4	1.9
y_{11}	1	39	34.3	1.0
	2	31	31.8	1.1
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	33.2	1.6
y_{12}	1	39	27.2	1.0

Table III

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the lower arch. (following)

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
	2	31	25.1	1.0
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	26.3	1.4
y_{13}	1	39	18.6	1.0
	2	31	17.1	0.9
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	17.9	1.2
y_{14}	1	39	7.0	1.0
	2	31	6.4	0.6
$P = 0.002515$	Overall/Global	70	6.7	0.9

Tableau III

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade inférieure. (suite)

Table IV

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the upper arch.

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
y_1	1	39	6.3	0.8
	2	31	5.7	0.9
$P = 0.0059672$	Overall/Global	70	6.0	0.9
y_2	1	39	16.8	0.9
	2	31	15.5	1.2
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	16.2	1.2
y_3	1	39	25.5	0.9
	2	31	23.5	1.3
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	24.6	1.5
y_4	1	39	32.2	1.0
	2	31	29.7	1.9
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	31.1	1.9
y_5	1	39	39.8	1.3

Tableau IV

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade supérieure.

Table IV

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the upper arch. (following)

Tableau IV

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade supérieure. (suite)

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
	2	31	36.9	2.5
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	38.5	2.4
<i>y</i> ₆	1	39	45.6	1.2
	2	31	42.2	3.1
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	44.1	2.8
<i>y</i> ₇	1	39	49.2	1.3
	2	31	45.6	3.2
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	47.6	2.9
<i>y</i> ₈	1	39	49.2	1.3
	2	31	45.6	3.2
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	47.6	2.9
<i>y</i> ₉	1	39	45.6	1.2
	2	31	42.2	3.1
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	44.1	2.8
<i>y</i> ₁₀	1	39	39.8	1.3
	2	31	36.9	2.5
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	38.5	2.4
<i>y</i> ₁₁	1	39	32.2	1.0
	2	31	29.7	1.9
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	31.1	1.9
<i>y</i> ₁₂	1	39	25.5	0.9
	2	31	23.5	1.3
<i>P</i> < 0.0001	Overall/Global	70	24.6	1.5
<i>y</i> ₁₃	1	39	16.8	0.9
	2	31	15.5	1.2

Table IV

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the upper arch. (following)

Tableau IV

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade supérieure. (suite)

Variable	Cluster	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	16.2	1.2
y_{14}	1	39	6.3	0.8
	2	31	5.7	0.9
$P = 0.0059672$	Overall/Global	70	6.0	0.9
x_1	1	39	31.1	1.6
	2	31	29.5	1.5
$P = 0.0001236$	All/Tout	70	30.4	1.7
x_2	1	39	28.7	1.5
	2	31	27.3	0.9
$P < 0.0001$	All/Tout	70	28.1	1.5
x_3	1	39	25.8	1.2
	2	31	24.6	1.0
$P < 0.0001$	All/Tout	70	25.3	1.3
x_4	1	39	23.2	1.1
	2	31	22.1	0.8
$P < 0.0001$	All/Tout	70	22.7	1.1
x_5	1	39	19.1	0.9
	2	31	18.2	0.7
$P = 0.00017341$	All/Tout	70	18.7	0.9
x_6	1	39	12.8	0.8
	2	31	12.3	1.1
$P = 0.00036241$	All/Tout	70	12.6	1.0
x_7	1	39	4.7	0.5
	2	31	4.5	0.5
$P = 0.029941$	All/Tout	70	4.6	0.6

Table IV

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the upper arch. (following)

Tableau IV

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à l'arcade supérieure. (suite)

Variable	Cluster	Number/Nombre	Mean/Moyenne	SD/ES
x_8	1	39	4.7	0.5
	2	31	4.4	0.5
	$P = 0.025112$	All/Tout	70	4.6
x_9	1	39	12.8	0.8
	2	31	12.3	1.1
	$P = 0.00036241$	All/Tout	70	12.6
x_{10}	1	39	19.1	0.9
	2	31	18.2	0.7
	$P = 0.00017341$	All/Tout	70	18.7
x_{11}	1	39	23.2	1.1
	2	31	22.1	0.8
	$P < 0.0001$	All/Tout	70	22.7
x_{12}	1	39	25.8	1.2
	2	31	24.6	1.0
	$P < 0.0001$	All/Tout	70	25.3
x_{13}	1	39	28.7	1.5
	2	31	27.3	0.9
	$P < 0.0001$	All/Tout	70	28.1
x_{14}	1	39	31.1	1.6
	2	31	29.5	1.5
	$P = 0.0001236$	All/Tout	70	30.4

Table V

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the WALA ridge.

Tableau V

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à la ligne mucogingivale.

Variable	Cluster	Number/Nombre	Mean/Moyenne	SD/ES
y_1	1	39	7.2	1.0
	2	31	6.5	0.6
	$P = 0.001587$	Overall/Global	70	6.9
y_2	1	39	18.6	1.1
	2	31	17.4	0.9
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	18.1
y_3	1	39	27.1	1.1
	2	31	24.9	1.0
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	26.1
y_4	1	39	33.9	1.2
	2	31	31.3	1.0
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	32.7
y_5	1	39	40.1	1.3
	2	31	37.2	1.0
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	38.9
y_6	1	39	43.5	1.3
	2	31	40.5	1.2
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	42.2
y_7	1	39	44.6	1.2
	2	31	41.5	1.4
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	43.3
y_8	1	39	44.6	1.2
	2	31	41.5	1.4
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	43.3
y_9	1	39	43.5	1.3
	2	31	40.5	1.2
	$P < 0.0001$	Overall/Global	70	42.2

Table V

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the WALA ridge. (following)

Tableau V

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à la ligne mucogingivale. (suite)

Variable	Cluster	Number/Nombre	Mean/Moyenne	SD/ES
y_{10}	1	39	40.1	1.3
	2	31	37.2	1.0
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	38.9	1.9
y_{11}	1	39	33.9	1.2
	2	31	31.3	1.0
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	32.7	1.7
y_{12}	1	39	27.1	1.1
	2	31	25.2	1.7
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	26.2	1.7
y_{13}	1	39	18.6	1.1
	2	31	17.4	0.9
$P < 0.0001$	Overall/Global	70	18.1	1.2
y_{14}	1	39	7.2	1.0
	2	31	6.5	0.6
$P = 0.001587$	Overall/Global	70	6.9	0.9
x_1	1	39.0	30.5	1.3
	2	31.0	29.3	1.4
$P = 0.00065376$	All/Tout	70.0	30.0	1.5
x_2	1	39.0	26.7	1.2
	2	31.0	25.7	1.2
$P = 0.0019361$	All/Tout	70.0	26.3	1.3
x_3	1	39.0	22.6	1.2
	2	31.0	21.6	1.2
$P = 0.004268$	All/Tout	70.0	22.1	1.2
x_4	1	39.0	19.0	0.9

Table V

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the WALA ridge. (following)

Tableau V

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à la ligne mucogingivale. (suite)

Variable	Cluster	Number/Nombre	Mean/Moyenne	SD/ES	
$P = 0.0023086$	2	31.0	18.2	1	
	All/Tout	70.0	18.7	1	
x_5	1	39.0	14.5	1	
	2	31.0	13.7	1	
	All/Tout	70.0	14.2	1.1	
$P = 0.0015229$					
	1	39.0	7.9	0.6	
	2	31.0	7.5	0.6	
$P = 0.0076605$	All/Tout	70.0	7.7	0.6	
	x_7	1	39.0	2.5	0.4
$P = 0.95499$	2	31.0	2.5	0.5	
	All/Tout	70.0	2.5	0.4	
x_8	1	39.0	2.5	0.4	
	2	31.0	2.5	0.5	
	All/Tout	70.0	2.5	0.4	
$P = 0.95499$					
	x_9	1	39.0	7.9	0.6
	2	31	7.5	0.6	
$P = 0.0076605$	All/Tout	70	7.7	0.6	
	x_{10}	1	39	14.5	1
$P = 0.0015229$	2	31	13.7	1	
	All/Tout	70	14.2	1.1	
x_{11}	1	39	19.0	0.9	
	2	31	18.2	1	
	All/Tout	70	18.7	1	
$P = 0.0023086$					
	x_{12}	1	39	22.6	1.2
	2	31	21.6	1.2	
$P = 0.004268$	All/Tout	70	22.1	1.2	

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires
 Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

Table V

Descriptive statistics of the 14 coordinates, within the two clusters and in the entire sample, in the WALA ridge. (following)

Variable	Cluster	Number/Nombre	Mean/Moyenne	SD/ES
x_{13}	1	39	26.7	1.2
	2	31	25.7	1.2
$P = 0.0019361$	All/Tout	70	26.3	1.3
x_{14}	1	39	30.5	1.3
	2	31	29.0	2.2
$P = 0.00050434$	All/Tout	70	29.8	1.9

Tableau V

Statistiques descriptives des 14 coordonnées, à l'intérieur des 2 clusters et dans l'échantillon entier, à la ligne mucogingivale. (suite)

Table VI

Interpolation functions and values (ordinate), where every x value corresponds to a mean y value at the upper arch, lower arch and WALA ridge.

Tableau VI

Fonctions d'interpolation et valeurs (ordonnées) où chaque valeur x correspond à une valeur moyenne y à l'arcade supérieure, à l'arcade inférieure et à la ligne mucogingivale.

x	Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	WALA ridge/ <i>ligne M-G</i>
29.5	7.80	11.59	9.94
26.5	14.84	19.98	16.59
23.0	24.29	29.69	24.66
19.5	32.16	36.64	31.08
15.0	38.91	42.70	37.54
8.5	42.84	46.35	41.82
3.0	44.34	47.68	43.09
3.0	44.34	47.68	43.09
8.5	42.84	46.35	41.82
15.0	38.91	42.70	37.52
19.5	32.16	36.63	30.95
23.0	24.29	29.68	24.57
26.5	14.84	20.02	16.63
29.5	7.80	11.62	10.00

Table VII

Respective mean intercanine and intermolar distances, and mean canine and molar depths for lower arch, upper arch and WALA ridge.

Variable	Area concerned/ <i>Zone concernée</i>	Number/ <i>Nombre</i>	Mean/ <i>Moyenne</i>	SD/ <i>ES</i>
Intercanine diameter/ <i>Distance/inter-canine</i>	Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	70	29.5	1.9
	Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	70	37.4	1.8
	WALA ridge/ <i>Ligne M-G</i>	70	28.3	2.1
	All/ <i>Ensemble</i>	210	31.7	4.5
Intermolar diameter/ <i>Distance/inter-molaire</i>	Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	70	51.3	2.6
	Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	70	56.2	2.9
	WALA ridge/ <i>Ligne M-G</i>	70	52.5	2.6
	All/ <i>Ensemble</i>	210	53.4	3.4
Canine depth/ <i>Profondeur canine</i>	Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	70	5.1	0.9
	Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	70	9.1	1.2
	WALA ridge/ <i>Ligne M-G</i>	70	4.4	0.7
	All/ <i>Ensemble</i>	210	6.2	2.3
Molar depth/ <i>Profondeur molaire</i>	Lower arch/ <i>Arcade inférieure</i>	70	26.6	1.5
	Upper arch/ <i>Arcade supérieure</i>	70	31.4	2.3
	WALA ridge/ <i>Ligne M-G</i>	70	25.2	1.6
	All/ <i>Ensemble</i>	210	27.7	3.2

Tableau VII

Largeurs intercanines et intermolaires moyennes respectives et épaisseurs moyennes des canines et des molaires à l'arcade inférieure, l'arcade supérieure et la ligne mucogingivale.

degree of fuzziness (which increases as the number of observations increases) with the capacity to locally interpolate data;

— degree: 2, the local functions are second-order polynomials (parabolas). As it is not possible to provide an analytical expression of the said curves, for each arc is given:

- o the graph of the estimated values, in *fig. 12*,
- o the table of the interpolated ordinates, from an abscissa -35 to an abscissa +35 for particular intermediate values in *Table VI*.

Table VII, on the other hand, reports the mean values of intercanine width, intermolar width, and canine and molar thicknesses for each arch (upper, lower and WALA ridge).

empirique en pesant le degré de flou (qui augmente à mesure que le nombre d'observations s'accroît) par rapport à la capacité d'interpoler les données au niveau local ;

— degré : 2, les fonctions locales sont des polynomiaux de second ordre (paraboles). Puisqu'il n'est pas possible de fournir une expression analytique de ces courbes, on produit pour chaque fil :

- o le graphique des valeurs estimées, montré à la *fig. 12*,
- o le tableau des ordonnées interpolées, depuis une abscisse de -35 jusqu'à une abscisse de +35 pour des valeurs intermédiaires particulières, montrées au *Tableau VI*.

D'un autre côté, le *Tableau VII* rapporte les valeurs moyennes des largeurs intercanine et intermolaire et l'épaisseur des canines et des molaires à chaque arcade (supérieure, inférieure et ligne mucogingivale).

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires
 Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

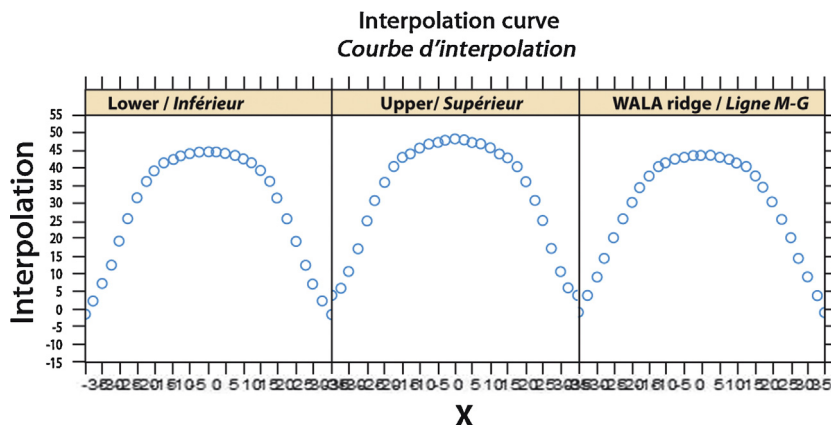


Fig. 12: Dental arches, interpolation function.
 Fig. 12 : Arcades dentaires, fonction d'interpolation.

Tables VIII–X report the measurements taken on the commercial archwires, the mean measurement obtained from the reference sample, the difference between the two and the 95% confidence interval of this difference, as per Oda et al.'s precedent [26].

Analysis of the tables shows that there is no statistically significant difference between sample and wire in terms of intercanine distance with MBT ovoid ($P = 0.07$) and ID FORM small ($P = 0.07$) in the lower arch, while there are significant differences at the WALA ridge and lower arch ($P < 0.05$). As regards the intermolar distances, in the upper arch, the only archwire that does not modify them significantly is the Roth small ($P = 0.57$). In the lower arch, the ID FORM small wires are the only ones that do not modify the intermolar distances ($P = 0.30$). The WALA ridge shows statistically significant differences in all cases except for the Alexander large, MBT square, Roth small and ID FORM medium ($P > 0.05$).

Discussion

Numerous studies have focussed on finding an ideal arch form by analyzing healthy patients in normal occlusion [18,27,28]. Nevertheless, great difficulties have been encountered, particularly in identifying reference points on each tooth, a mathematical geometrical model that best defines the vestibular arch form and an adequate method of statistical analysis. In fact, the literature reports the use of various anatomical reference points, for instance, the incisal margin for the anterior teeth and the cuspids of the canines, premolars and molars, or the points of contact, the alveolar bone margin, cranial

Les Tableaux VIII–X rapportent les mesures relevées sur les arcs orthodontiques commerciaux, la valeur moyenne obtenue à partir de l'échantillon de référence, la différence entre les deux et l'intervalle de confiance de cette différence, en suivant la méthode d'Oda et al. [26].

L'analyse des tableaux montre qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative à l'arcade inférieure entre l'échantillon et les arcs en termes de largeur intercanine avec le MBT ovoïde ($p = 0,07$) et l'ID FORM petit ($p = 0,07$) alors qu'il existe des différences significatives au niveau de la ligne mucogingivale et de l'arcade inférieure ($p = 0,05$). En ce qui concerne les largeurs intermolaires à l'arcade supérieure, le seul fil qui ne les modifie pas de façon significative est le Roth petit ($p = 0,57$). À l'arcade inférieure, les arcs ID FPRM petits sont les seuls qui ne modifient pas les largeurs intermolaires ($p = 0,30$). La ligne mucogingivale affiche des différences statistiquement significatives sauf en ce qui concerne l'Alexander grand, le MBT carré, le Roth petit et l'ID FORM moyen ($p > 0,05$).

Discussion

De nombreuses études se sont efforcées de trouver la forme d'arcade idéale en analysant des patients en bonne santé avec une occlusion normale [18,27,28]. Néanmoins, elles se sont heurtées à des difficultés importantes, surtout pour identifier les points de référence sur chaque dent et pour déterminer le modèle géométrique mathématique le plus apte à définir la forme d'arcade vestibulaire et à permettre une analyse statistique adéquate. En effet, la littérature fait état de l'utilisation de divers points de repère anatomiques, par exemple, le bord incisif des dents pour les dents antérieures

Table VIII

Commercial archwire measurements, mean upper intercanine and intermolar diameters of sample, the difference between the mean sample and archwire measurements and the 95% confidence interval of said difference.

Device/ <i>Type d'arcs pré-fabriqués</i>	Device measurement/ <i>Mesures de l'arc pré-fabrique</i>	Mean sample measurement/ <i>Moyenne des mesures de l'échantillon</i>	Delta/ <i>Différence</i>	<i>P-value</i>
<i>Intercanine diameter/Distance intercanine</i>				
Alexander upper/ <i>Supérieur</i>	35.00	37.40	-2.40	0.00
Damon	41.00	37.40	3.60	0.00
MBT ovoid/ <i>Ovoïde</i>	37.00	37.40	-0.40	0.07
MBT square/ <i>Carré</i>	41.00	37.40	3.60	0.00
MBT tapered/ <i>Effilé</i>	33.00	37.40	-4.40	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	41.00	37.40	3.60	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	39.00	37.40	1.60	0.00
ID FORM small/ <i>Petit</i>	37.00	37.40	-0.40	0.07
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	39.00	37.40	1.60	0.00
ID FORM large/ <i>Grand</i>	41.00	37.40	3.60	0.00
<i>Intermolar diameter/Distance intermolaire</i>				
Alexander upper/ <i>Supérieur</i>	55.00	56.20	-1.20	0.00
Damon	62.00	56.20	5.80	0.00
MBT ovoid/ <i>Ovoïde</i>	55.00	56.20	-1.20	0.00
MBT square/ <i>Carré</i>	57.00	56.20	0.80	0.02
MBT tapered/ <i>Effilé</i>	53.00	56.20	-3.20	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	58.00	56.20	1.80	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	56.00	56.20	-0.20	0.57
ID FORM small/ <i>Petit</i>	52.00	56.20	-4.20	0.00
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	55.00	56.20	-1.20	0.00
ID FORM large/ <i>Grand</i>	58.00	56.20	1.80	0.00

structures, and so on. However, it has by now been established that these points are unable to provide a clinically useful representation of the arch form [40]. In contrast, points of reference on the surface of the teeth, the FA points, do furnish a direct representation of the clinical arch form, which can be used to guide the manufacture of orthodontic archwires; this is why we used these reference points in the present study.

Tableau VIII

Mesures des arcs préfabriqués, largeurs intercanines et intermolaires supérieures de l'échantillon, différence entre les valeurs moyennes de l'échantillon et des arcs, et intervalle de confiance de 95 % de cette même différence.

et les cuspides ou les points de contact des canines, prémolaires et molaires, la marge de l'os alvéolaire, les structures crâniennes, etc. Cependant, il a été désormais établi que ces points ne sont pas en mesure de fournir une représentation cliniquement utile de la forme de l'arcade [40]. En revanche, des points de repère situés à la surface des dents sont capables de donner une représentation de la forme d'arcade clinique susceptible de guider la fabrication des fils orthodontiques. Ce sont ces points de référence, par conséquent, que nous avons utilisés dans notre étude.

Table IX

Commercial archwire measurements, mean lower intercanine and intermolar diameters of sample, difference between the mean sample and archwire measurements and the 95% confidence interval of said difference.

Tableau IX

Mesures des arcs sur le marché, largeurs inter-canines et inter-molaires inférieures de l'échantillon, différence entre les valeurs moyennes de l'échantillon et des arcs, et intervalle de confiance de 95 % de cette même différence.

Device/ <i>Arc préfabriqué</i>	Device measurement/ <i>Mesure de l'arc préfabriqué</i>	Mean sample measurement/ <i>Mesure moyenne de l'échantillon</i>	Delta/ <i>Différence</i>	<i>P</i> -value
<i>Intercanine diameter/Distance inter-canine</i>				
Alexander small/ <i>Petit</i>	27.00	29.49		0.00
Alexander large/ <i>Grand</i>	29.00	29.49	-0.49	0.03
Damon	33.00	29.49	3.51	0.00
MBT ovoid/ <i>Ovoïde</i>	26.00	29.49	-3.49	0.00
MBT square/ <i>Carré</i>	30.00	29.49	0.51	0.03
MBT tapered/ <i>Effilé</i>	24.00	29.49	-5.49	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	26.00	29.49	-3.49	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	30.00	29.49	0.51	0.03
ID FORM small/ <i>Petit</i>	29.00	29.49	-0.49	0.03
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	31.00	29.49	1.51	0.00
ID FORM large/ <i>Grand</i>	32.00	29.49	2.51	0.00
<i>Intermolar diameter/Distance inter-molaire</i>				
Alexander small/ <i>Petit</i>	47.00	51.30	-4.30	0.00
Alexander large/ <i>Grand</i>	53.00	51.30	1.70	0.00
Damon	59.00	51.30	7.70	0.00
MBT ovoid/ <i>Ovoïde</i>	48.00	51.30	-3.30	0.00
MBT square/ <i>Carré</i>	52.00	51.30	0.70	0.00
MBT tapered/ <i>Effilé</i>	48.00	51.30	-3.30	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	54.00	51.30	2.70	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	52.00	51.30	0.70	0.00
ID FORM small/ <i>Petit</i>	51.00	51.30	-0.30	0.30
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	53.00	51.30	1.70	0.00
ID FORM large/ <i>Grand</i>	56.00	51.30	4.70	0.00

Various authors [18,27–29] maintain that the majority of tapered arches proposed by the current manufacturers are derived from catenary curves, while others [31,32,41,42] maintain they are elliptical. In contrast, the most recent studies, like those conducted by Ferrario et al. [22] and Trivino et al. [23] have proposed polynomial functions of the second to the eighth degree. In the present study, however, in order to

Divers auteurs [18,27–29] sont d'avis que la majorité des arcs fuselés proposés par les fabricants actuels est basée sur des courbes caténaïres, alors que d'autres [31,32,41,42] soutiennent, au contraire, que ces arcs sont elliptiques. En revanche, les études les plus récentes, comme celles menées par Ferrario et al. [22] et Trivino et al. [23], ont proposé des fonctions polynomiales du second au huitième degré. Dans la

Table X

Commercial archwire measurements, mean WALA ridge intercanine and intermolar diameters of sample, difference between the mean sample and archwire measurements and the 95% confidence interval of said difference.

Device/ <i>Arc préfabriqué</i>	Device measurement/ <i>Mesure de l'arc/préfabriqué</i>	Mean sample measurement/ <i>Mesure moyenne/de l'échantillon</i>	Delta/ <i>Différence</i>	<i>P</i> -value
<i>Intercanine diameter/Distance inter-canine</i>				
Alexander small/ <i>Petit</i>	27.00	28.33	-1.33	0.00
Alexander large/ <i>Grand</i>	29.00	28.33	0.67	0.01
Damon	33.00	28.33	4.67	0.00
MBT ovoid/ <i>ovoïde</i>	26.00	28.33	-2.33	0.00
MBT square/ <i>carré</i>	30.00	28.33	1.67	0.00
MBT tapered/ <i>pointu</i>	24.00	28.33	-4.33	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	26.00	28.33	-2.33	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	30.00	28.33	1.67	0.00
ID FORM small/ <i>Petit</i>	29.00	28.33	0.67	0.01
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	31.00	28.33	2.67	0.00
ID FORM large/ <i>Grand</i>	32.00	28.33	3.67	0.00
<i>Intermolar diameter/Distance inter-molaire</i>				
Alexander small/ <i>Petit</i>	47.00	52.54	-5.54	0.00
Alexander large/ <i>Grand</i>	53.00	52.54	0.46	0.14
Damon	59.00	52.54	6.46	0.00
MBT ovoid/ <i>Ovoïde</i>	48.00	52.54	-4.54	0.00
MBT square/ <i>Carré</i>	52.00	52.54	-0.54	0.08
MBT tapered/ <i>Pointu</i>	48.00	52.54	-4.54	0.00
Roth large/ <i>Grand</i>	54.00	52.54	1.46	0.00
Roth small/ <i>Petit</i>	52.00	52.54	-0.54	0.08
ID FORM small/ <i>Petit</i>	51.00	52.54	-1.54	0.00
ID FORM medium/ <i>Moyen</i>	53.00	52.54	0.46	0.14
ID FORM large/ <i>Grand</i>	56.00	52.54	3.46	0.00

identify a hypothetical arch form, we decided to use cluster analysis, as multivariate analysis allows us to group statistical units into internally homogeneous clusters on the basis of multivariate measurements of likeness/disparity between pairs of statistical units. Based on the analysis performed in this study, two “natural” clusters can be discerned in the

Tableau X

Mesures des arcs sur le marché, largeurs inter-canine et inter-molaire au niveau de la ligne muco-gingivale moyenne de l'échantillon, différence entre les valeurs moyennes de l'échantillon et des arcs, et intervalle de confiance de 95 % de cette même différence.

présente étude, cependant, afin d'identifier une forme d'arcade hypothétique, nous avons décidé d'utiliser l'analyse de clusters puisque l'analyse multivariée nous permet de regrouper les unités statistiques en clusters caractérisés par une homogénéité interne à partir de mesures multivariées de similitude/disparité entre des paires d'unités statistiques. En

collection of data analyzed, comprising subjects with a homogeneous arch form but of different size, i.e., one group with a "larger" oral area, and one a "smaller." This outcome was obtained with the aid of a symmetrization criterion applied before measurement; even though the models selected were of subjects in "ideal" occlusion, they were not perfectly symmetrical. Thus, following the precedent set by other authors [2,29], once the coordinates for the 14 points of reference per quadrant had been determined, we translated these onto mirror images of the same quadrant, thereby creating perfectly symmetrical "ideal" arches.

The second objective in our study was to compare the curves thereby obtained with the shapes of the main commercially-available upper and lower archwires, taking into account the in-out dimension of the brackets, determined according to Andrews [4]. A similar method had previously been used by Oda et al. [26] who compared the principal archwires on the market with the natural arch forms of 30 Japanese students, taking into account the position of the brackets. Precisely as in our study, they calculated the parameters canine thickness, (first) molar thickness, intercanine width and intermolar width, and compared the sample means with the canine and molar points determined on the archwires. As the Japanese study only considered the mandibular arch, we decided to extend this type of analysis to the upper arch. Like Oda et al. [26], however, we also took the important step of identifying the mean in-out values of different brackets. These values were taken into consideration when measuring the FA points on the plaster model scans, something that has not been done in the many studies comparing arch form and archwire shape, despite the mass of research investigating the issue [26,36]. Hence, it is not easy to compare our results with those obtained by other authors.

Nevertheless, our data show that, in the upper arch, the most representative archwires in terms of intercanine width are the MBT Ovoid and ID FORM small (both with a difference of -0.40 mm), whereas the Roth small is closer in terms of intermolar width (-0.2 mm). In the lower arch, all archwires examined modify the intercanine width. The only archwire conforming to the intermolar width is the ID-SMALL that reduces it by a maximum of 0.3 mm.

This means that the majority of devices on the market will modify the intercanine width of the lower arch, which many authors agree is something to be avoided if orthodontic relapse and/or periodontal problems are to be averted [7,8]. Nonetheless, our results do contrast with those of Oda et al. [26] who stated that archwires are generally narrower than the

nous basant sur l'analyse réalisée dans cette étude, nous avons détecté deux clusters « naturels » parmi l'ensemble de données analysées comprenant des sujets avec des formes d'arcades homogènes mais de tailles différentes, i.e., un groupe avec une superficie orale plus étendue et un avec une superficie orale plus petite. Ce résultat a été obtenu à l'aide d'un critère de symétrisation appliqué avant le relevé des mesures. Bien que les modèles sélectionnés aient appartenu à des patients en occlusion « idéale », ils n'étaient pas parfaitement symétriques. Ainsi, suivant le précédent établi par d'autres auteurs [2,29], une fois les coordonnées des 14 points de repère par quadrant bien déterminées, nous avons transféré celles-ci sur des images « en miroir » du même quadrant, créant ainsi des arcades « idéales » parfaitement symétriques.

Le deuxième objectif de notre étude était de comparer les courbes produites de cette façon avec les formes des principaux fils supérieurs et inférieurs disponibles sur le marché, prenant en compte la dimension « in-out » des brackets, déterminée selon la méthode d'Andrews [4]. Une technique similaire avait déjà été utilisée par Oda et al. [26] qui ont comparé les principaux fils sur le marché avec les formes d'arcades naturelles de 30 étudiants japonais, en prenant en compte la position des brackets. Exactement comme dans notre étude, ils ont calculé les paramètres concernant l'épaisseur des canines et des premières molaires et les largeurs intercanine et intermolaire, et ont comparé les moyennes de l'échantillon avec les points des molaires et des canines déterminés sur les fils. Comme l'étude japonaise n'a investigué que l'arcade mandibulaire, nous avons décidé d'étendre ce type d'analyse à l'arcade supérieure. Tout comme Oda et al., cependant, nous avons pris la décision importante de chercher à identifier les valeurs « in-out » moyennes de différents brackets. Ces valeurs étaient prises en compte lorsque nous avons mesuré les points FA sur les scanners des modèles en plâtre, un procédé qui n'a jamais été utilisé dans les nombreuses études comparant la forme d'arcade et la conformation des fils malgré la recherche abondante sur ce sujet [26,36]. En conséquence, il n'est pas facile de comparer nos propres résultats avec ceux d'autres auteurs.

Néanmoins, nos données montrent, à l'arcade supérieure, que les fils les plus représentatifs en termes de largeur intercanine sont le MBT ovoïde et l'ID FORM petit (tous les deux montrant une différence de $-0,40$ mm) alors que le Roth petit était plus proche en ce qui concerne la largeur intermolaire ($-0,2$ mm). À l'arcade inférieure, tous les fils étudiés modifient la largeur inter-canine. Le seul fil qui se conforme à la largeur intermolaire est l'ID-SMALL qui ne la réduit que de $0,3$ mm au maximum.

Cela signifie que la majorité des dispositifs sur le marché vont modifier la largeur intercanine à l'arcade inférieure, alors que de nombreux auteurs s'accordent pour dire qu'une telle modification n'est pas souhaitable si l'on veut éviter des récives orthodontiques et/ou des problèmes parodontaux [7,8]. Néanmoins, nos résultats s'opposent à ceux d'Oda et al. qui

natural dentition, and should be wider on average by 1–3 mm at the canines and 2–5 mm at the molars. This discrepancy with our results, however, is likely due to the different ethnic backgrounds of the subjects studied. Indeed, our conclusions are very similar to those reached in a similar study by Braun et al. [24] on another Caucasian sample, this time comprising 15 patients from the US in ideal occlusion, even though different values were obtained. It is therefore evident that race is an important factor to be taken into consideration when evaluating the arch form, as also highlighted by Nojima et al. [18].

The third objective of our study was to compare the shape of the lower dental arch with that of its supporting mandibular bone, by identifying the WALA ridge curve. The aim of this investigation was to determine whether the latter curve can be used as a guide to the biological arch form during orthodontic treatment. Indeed, in a recent study by Ronay et al. [37], the mandibular arch form was compared with that of the basal bone using curves passing through the FA and WALA ridge points, respectively. This study highlighted a significant relationship between the dental and WALA ridge curves for each patient, and we decided to repeat the experiment, in this case introducing a third variant—the shape of commercial archwires.

To our knowledge, this is the first time such a study has been performed, particularly on an Italian population, and we found that the curve of the lower dentition closely followed that of the alveolar crest. Interestingly, however, the same could not be said for the archwires tested, which all showed a tendency to increase the intercanine width of the lower arch, and would therefore also modify its bony support. Regarding the other measurement parameters, however, no such close correlation was found between the modification in the coronal intermolar width and that of the WALA ridge.

Conclusions

This investigation allows us to draw the following conclusions: — the variety of orthodontic archwire shapes on the market does not cater for all the types of natural arch form observed in the sample population. Some devices were found to be wider, and others narrower in the canine and molar regions;

— upper intermolar width will almost always be modified by the commercial archwires considered, while the intercanine width can be roughly preserved using the MBT Ovoid and ID FORM small archwires;

ont affirmé que les fils sont généralement d'une largeur plus petite par rapport à la denture naturelle et devraient être plus larges, en moyenne, de 1–3 mm au niveau des canines et de 2–5 mm au niveau des molaires. Cependant, cette disparité par rapport à nos propres résultats est probablement due à la différence d'origine ethnique des sujets étudiés. En effet, nos conclusions sont très similaires à celles obtenues par une étude semblable de Braun et al. [24] portant sur un autre échantillon caucasien comprenant 15 patients des États-Unis en occlusion idéale, malgré les différences entre les valeurs relevées. Il va de soi, par conséquent, que l'origine raciale est un facteur à ne pas négliger lorsqu'on évalue la forme de l'arcade, comme le soulignent aussi Nojima et al. [18].

Le troisième objectif de notre étude était de comparer la forme de l'arcade dentaire inférieure avec celle de l'os mandibulaire sous-jacent en identifiant la courbe de la ligne mucogingivale. Le but de cette investigation spécifique était de déterminer si la courbe susmentionnée peut être utilisée comme guide indiquant la forme d'arcade biologique pendant le traitement orthodontique. En effet, dans une étude récente de Ronay et al. [37], la forme d'arcade mandibulaire a été comparée à celle de l'os basal à l'aide de courbes passant, respectivement, par les points du FA et de la ligne mucogingivale. Cette étude soulignait la relation significative entre les courbes des dents et de la ligne mucogingivale chez chaque patient et nous avons décidé de répéter l'expérience en introduisant une troisième variante, la forme des fils commercialement disponibles.

À notre connaissance, cela est la première fois qu'une telle étude a été réalisée, surtout sur une population italienne, et nous avons trouvé que la courbe de la denture inférieure suivait de près celle de la crête alvéolaire. À noter, cependant, que cette conclusion n'était pas vraie pour les arcs testés, qui tous ont montré une tendance à augmenter la largeur intercanine de l'arcade inférieure et qui, par conséquent, seraient susceptibles de modifier le support osseux. En ce qui concerne les autres paramètres mesurés, cependant, aucune relation étroite n'a été trouvée entre la modification de la largeur intermolaires coronale et celle de la ligne mucogingivale.

Conclusions

Cette étude nous permet de tirer les conclusions suivantes :

— les formes variées des arcs orthodontiques disponibles sur le marché ne correspondent pas à tous les types de formes d'arcades naturelles observés dans notre population échantillon. Certains dispositifs se sont révélés être plus larges, et d'autres plus étroits, dans les régions des canines et des molaires ;

— la largeur intermolaires supérieure sera presque toujours modifiée par les fils commerciaux étudiés alors que la largeur intercanine peut être plus ou moins conservée avec les fils MBT ovoïde et l'ID FORM petit ;

— lower intercanine width, on the other hand, will always be modified, and the lower intermolar width can only be preserved using the ID FORM small archwire;
— the shape of the mandibular bony support reflects, albeit with slight local differences, the upper dentition at the canines. However, it cannot provide a useful guide in managing the arch form during orthodontic treatment.

— en revanche, la largeur intercanine inférieure sera inévitablement modifiée et la largeur intermolaire inférieure ne peut être que conservée en utilisant le fil ID FORM petit ;
— la forme du support osseux mandibulaire reflète, à quelques minimales différences locales près, la denture supérieure au niveau des canines. Cependant, elle ne peut être utilisée comme guide fiable pour la gestion de la forme d'arcade pendant le traitement orthodontique.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

References/Références

1. Musich DR, Ackerman JL. The catenometer: a reliable device for estimating dental arch perimeter. *Am J Orthod* 1973;63(4):366–75.
2. Rudge SJ, Jones PT, Hepenstal S, Bowden DEJ. The reliability of study model measurement in the evaluation of crowding. *Eur J Orthod* 1983;5:225–31.
3. Jones ML, Richmond S. An assessment of the fit of a parabolic curve to pre- and post-treatment dental arches. *Br J Orthod* 1989;16:85–93.
4. Andrews LF. *Straight Wire—The Concept and Appliance*®. Masson ed, Paris 1989.
5. Felton MJ, Sinclair PM, Jones DL, Alexander RG. A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92(6):478–83.
6. Bishara SE, Chandra JM, Potter RE. Stability of intercanine width, overbite and overjet correction. *Am J Orthod* 1973;63(6):588–95.
7. Shapiro PA. Mandibular dental arch form and dimension. Treatment and postretention changes. *Am J Orthod* 1974;66(1):58–70.
8. Little RM. Stability and relapse of dental arch alignment. *Br J Orthod* 1990;17(3):235–41.
9. de la Cruz A, Sampson P, Little RM, Artun J, Shapiro PA. Long-term change in arch form after orthodontic treatment and retention. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107(5):518–30.
10. Lee RT. Arch width and form: a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115(3):305–13.
11. Artun J, Garol JD, Little RM. Long-term stability of mandibular incisors following successful treatment of class II, division I malocclusions. *Angle Orthod* 1996;66(3):229–38.
12. Proffit WR. Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod* 1978;48(3):175–86.
13. Lavelle CL. Dental and other bodily dimensions in different orthodontic categories. *Angle Orthod* 1975;45(1):65–71.
14. Nie Q, Lin J. A comparison of dental arch forms between Class II Division I and normal occlusion assessed by euclidean distance matrix analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(4):528–35.
15. Buschang PH, Stroud J, Alexander RG. Differences in dental arch morphology among adult females with untreated Class I and Class II malocclusions. *Eur J Orthod* 1994;16(1):47–52.
16. Ball RL, Miner RM, Will LA, Arai K. Comparison of dental and apical base arch forms in Class II Division I and Class I malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138(1):41–50. doi: 10.1016/j.ajodo.2008.11.026.

17. Gupta D, Miner RM, Arai K, Will LA. Comparison of the mandibular dental and basal arch forms in adults and children with Class I and Class II malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138(1):10e1–8. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.01.024 [discussion 10–11].
18. Nojima K, McLaughlin RP, Isshiki Y, Sinclair PM. A comparative study of Caucasian and Japanese mandibular clinical arch forms. *Angle Orthod* 2001;71(3):195–200.
19. Gafni Y, Tzur-Gadassi L, Nojima K, McLaughlin RP, Abed Y, Redlich M. Comparison of arch forms between Israeli and North American white populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(3):339–44. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.03.047.
20. Bayome M, Sameshima GT, Kim Y, Nojima K, Baek SH, Kook YA. Comparison of arch forms between Egyptian and North American white populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(3):e245–52. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.11.012.
21. Andrews LF, Andrews WA. The six elements of orofacial harmony. *Andrews J* 2000;1:13–22.
22. Ferrario VF, Sforza C, Dellavia C, Colombo A, Ferrari RP. Three-dimensional hard tissue palatal size and shape: a 10-year longitudinal evaluation in healthy adults. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2002;17(1):51–8.
23. Trivino T, Siqueira DF, Scanavini MA. A new concept of mandibular dental arch forms with normal occlusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133(1):10.e15–22. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.07.014.
24. Braun S, Hnat WP, Fender DE, Legan HL. The form of the dental arch. *Angle Orthod* 1998;68(1):29–36.
25. McLaughlin RP, Bennett JC. Considerazioni sulla forma d'arcata per ottenere stabilita ed estetica. *Ortognatodonzia Italiana* 2001;10:217–35.
26. Oda S, Arai K, Nakahara R. Commercially available archwire forms compared with normal dental arch forms in a Japanese population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4):520–7. doi: 10.1016/j.ajodo.2008.04.025.
27. Bonwill WGA. Geometrical and mechanical laws of articulation: anatomical articulation. *Trans Odont Soc Penns* 1885;109–33.
28. Hawley CA. Determination of the normal arch and its application to orthodontia. *Dental Cosmos* 1905;47:541–52.
29. MacConaill MA, Scher EA. The ideal form of the human dental arcade, with some prosthetic applications. *Dent Rec (London)* 1949;69(11):285–302 [illustr].
30. Currier JH. A computerized geometric analysis of human dental arch form. *Am J Orthod* 1969;56(2):164–79.
31. (a) Brader AC. Dental arch form related to intra-oral force. *Am J Orthod* 1972;61(6):541–61
(b) Lu KH. An orthogonal analysis of the form, symmetry and asymmetry of the dental arch. *Archs oral Biol* 1972;11:1057–69.
32. Lu KH. An orthogonal analysis of the form, symmetry and asymmetry of the dental arch. *Arch Oral Biol* 1966;11(11):1057–69.
33. Noroozi H, Nik TH, Saeeda R. The dental arch form revisited. *Angle Orthod* 2001;71(5):386–9.
34. BeGole EA. Application of the cubic spline function in the description of dental arch form. *J Dent Res* 1980;59(9):1549–56.
35. Braun S, Hnat WP, Leschinsky R, Legan HL. An evaluation of the shape of some popular nickel titanium alloy preformed arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116(1):1–12.
36. Camporesi M, Franchi L, Baccetti T, Antonini A. Thin-plate spline analysis of arch form in a Southern European population with an ideal natural occlusion. *Eur J Orthod* 2006;28(2):135–40 [Epub 2005 Aug 22].
37. Ronay V, Miner RM, Will LA, Arai K. Mandibular arch form: the relationship between dental and basal anatomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134(3):430–8. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.10.040.
38. Little RM. The Irregularity Index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod* 1975;68(5):554–63.

Dental and alveolar arch forms in a Caucasian population compared with commercially available archwires
Formes d'arcades dentaires et alvéolaires dans une population caucasienne comparées à des fils disponibles sur le marché

39. Development Core Team R.. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria3-900051-07-0 <http://www.R-project.org/> 2011.
40. Fabbri L. Statistica multivariate: analisi esplorativa dei dati. Istruzione scientifica. XVII, p.437McGraw-Hill Libri Milano, Italia 1997.
41. Lombardo L, Saba L, Scuzzo G, et al. A new concept of anatomic lingual arch form. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2010;138(3):260.e1-260.e13. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.04.022 [discussion 260–1].
42. Hechter FJ. Symmetry and dental arch form of orthodontically treated patients. Dent J 1978;44(4):173–84.