

Etude comparative des arcades dentaires par la méthode Procruste

Première partie : forme de l'arcade maxillaire

Comparative study of dental arches using the Procrustes method

Part one: the maxillary arch form

Marine PENIN-LAMBERT¹, Laurent PIERRISNARD², Xavier PENIN³

Traduction : George MORGAN

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de la variabilité de la forme d'arcade dentaire maxillaire. Le logiciel d'analyse par superposition APS, basé sur une méthode statistique appelée « superposition Procruste » permet de modéliser les variations morphologiques des arcades dentaires, sans faire intervenir le facteur taille. Ainsi, par le calcul des composantes de conformation, les variations morphologiques de ces arcades dans l'échantillon sélectionné de quarante individus sont analysées. La significativité des changements de conformation est testée statistiquement et les résultats peuvent être visualisés graphiquement.

Les variations morphologiques globales des arcades dentaires sont étudiées, puis les différences de morphologie remarquables entre les individus en classe I et ceux en classe II d'Angle sont analysées. L'arcade moyenne présente une forme antérieure circulaire et une forme globale proche de la parabole. Les différentes variations de la conformation des arcades aboutissent à des formes très variables. La variabilité morphologique des arcades est un facteur de différenciation entre les Classes I et II.

Mots-clés

- Arcades dentaires.
- APS.
- Analyse de forme.
- Superposition Procruste.
- Classe d'Angle.

Summary

The aim of this paper is to study the variability of the maxillary dental arch form. APS superimposition analysis software, based on the so-called "Procrustes superimposition" statistical method, makes it possible to model the morphological variations of dental arches without introducing the size factor. Using this technique, an analysis was performed by calculating the conformation components of the morphological variations of these arches for a selected sample of forty subjects. The statistical significance of these changes of conformation was tested and the results are presented graphically.

The overall morphological variations of the dental arches have been studied and the noticeable differences of morphology between Class I and Class II subjects have been analyzed. The mean arch has a circular anterior form and a global form similar to that of a parabola. The different variations of arch conformation gives rise to very variable forms. Morphological variability of arches is a criterion differentiating between Classes I and II.

Key-words

- Dental arches.
- APS.
- Arch form analysis.
- Procruste superimposition.
- Angle Class.

¹ Marine PENIN-LAMBERT, Faculté de Chirurgie Dentaire de Montrouge, Paris V.

² Laurent PIERRISNARD, Faculté de Chirurgie Dentaire de Montrouge, Paris V.

³ Xavier PENIN, Faculté de Chirurgie Dentaire de Montrouge, Paris V.

Correspondance et tirés à part / Correspondence and reprints:

M. PENIN-LAMBERT, Faculté de Chirurgie Dentaire de Montrouge, Paris V.
marine.lambert@club-internet.fr

De très nombreux auteurs ont essayé de faire des classifications, ou de déterminer une forme d'arcade dentaire moyenne. Les formes décrites s'inspirent généralement des trois coniques : l'ellipse, la parabole et l'hyperbole.

Des variantes plus ou moins assimilables à ces formes de base sont également évoquées : les formes en U, en V, en lyre, en œuf, en fer à cheval... Izard [1] propose six formes d'arcade : parabole dans 10 % des cas, ellipse dans 85 % des cas, puis hyperbole, en U, en œuf, en fer à cheval. Mac Cornail et Sicher [2] considèrent que la courbe caténaire représente la meilleure approximation de la ligne d'occlusion. Cette ligne est comparée à une chaînette suspendue à deux points fixes et abandonnée à l'action de la pesanteur. La courbure apicale de la chaîne varie avec l'écartement des bras de la chaîne. Elle ressemble à une parabole, mise à part que ses bras ne tendent pas vers la ligne droite. La forme dépend de la courbure à l'apex. Currier [3], qui a fait une analyse mathématique informatisée sur une population de 25 adultes caucasiens, conclue que l'ellipse décrit mieux la courbe externe des arcades que la parabole. L'approche de Brader [4] est plus fonctionnelle. Il tente de déterminer, pour un échantillon de 25 cas, les relations entre les forces physiques exercées par les muscles et la forme d'arcade. L'ellipse trifocale ainsi décrite est une courbe composée de trois ellipses dont les axes interfocaux forment un triangle à sommet antérieur (au niveau incisif) et à base postérieure. White [5] en comparant les courbes de 24 adultes observe une correspondance de 8 % entre la charte de Bonwill et Hawley et son échantillon ; une correspondance de 12,5 % entre l'ellipse trifocale et son échantillon ; et avec les courbes caténaïres : 27,8 % de bonne adaptation. Genone et al. [6] ont étudié les formes d'arcade de 43 sujets. Ils répartissent les arcades en trois groupes : l'arcade de forme caténaire représente 41,8 % de la population étudiée, l'arcade en ellipse trifocale représente 23 % de cette population et l'arcade « elliptico-parabolique » représente 34,8 % de l'échantillon ; ce groupe a une forme d'arcade composée en antérieur d'une ellipse et en postérieur d'une parabole. Savostin et Asling [7] ont étudié les arcades mandibulaires de 220 individus et déterminé à partir de leurs résultats une classification de trois formes distinctes d'arcades : quadrangulaire, ovale et triangulaire. Felton et al. [8] dans une étude des arcades mandibulaires de 90 individus concluent à l'existence d'une grande variabilité des formes d'arcade.

Cette liste non exhaustive permet d'envisager la complexité des classifications des formes d'arcades et leur grande variabilité. Cette variabilité s'explique par le nombre important de facteurs qui influencent cette forme d'arcade : facteurs osseux, musculaire et fonctionnel, héréditaire et dans une moindre mesure, le facteur sexuel. Selon Raberin et al. [9], aucune différence morphologique n'est mise en évidence entre les hommes et les femmes, en revanche, les arcades des femmes ont des dimensions inférieures.

Quoi qu'il en soit, aucun tracé n'assure une bonne adaptation à l'ensemble des arcades. Aucune courbe ne peut caractériser le contour d'une arcade « normale ».

Les différences morphologiques entre classe d'Angle ont été étudiées par Braun et al. [10] qui mettent en évidence que les arcades maxillaires en classe II sont plus étroites que celles en

Avery large number of authors have endeavoured to draw up classifications or establish the form of an average dental arch. The forms described are generally inspired by the three types of conic section, the ellipse, the parabola and the hyperbola.

More or less similar variants of these basic forms have also been referred to, including U-, V-, lyre- egg- and horse-shoe forms... Izard [1] has suggested six types of arch form: the parabola (10% of cases), the ellipse (85%), as well as the hyperbola, U-, egg-, and horse-shoe forms. Mac Cornail and Sicher [2] maintain that the catenary curve constitutes the closest approximation to the occlusal line. This line is compared with a chain suspended from two fixed points and subjected to gravity. The apical curve varies according to the distance between the arms of the chain. This form resembles a parabola apart from the fact that the arms do not evolve towards a straight line. The form is dependent upon the curve of the apex. Currier [3], who has undertaken a computerized mathematical analysis on a population of 25 Caucasian adults, concluded that the ellipse provides a more accurate description than the parabola of the outer curve of the arches. Brader's [4] approach is more functional. Using a sample of 25 subjects, he attempts to establish the relationships between physical forces generated by the muscles and the form of the arch. The trifocal ellipse he eventually comes up with is a curve comprising three ellipses the interfocal axes of which form a triangle with an anterior apex (at the incisors) and a posterior base. White [5] compared the curves of 24 adults and observed an 8% correlation between Bonwill and Hawley's chart and his sample, a 12.5% match between the trifocal ellipse and his sample, and 27.8% of good matches with the catenary curves. Genone et al. [6] studied the arch forms of 43 individuals. They divided the arches into three categories: catenary-formed arches constitute 41.8% of the study population, the trifocal ellipse 23% and the elliptico-parabolic group 34.8%. The latter group has an arch form comprising an anterior ellipse and a posterior parabola. Savostin and Asling [7] studied the mandibular arches of 220 individuals. On the basis of their results they drew up a classification containing three distinct forms of arch: quadrangular, oval and triangular. Felton et al. [8], in a study of the mandibular arches of 90 individuals, concluded that there exists a great variety of arch forms.

This non-exhaustive list highlights the complexity of arch-form classifications and their great variability. This variability is accounted for by the large number of factors which come into play in arch forms: osseous, muscular, functional, hereditary and, to a lesser degree, gender-related factors. According to Raberin et al. [9], no morphological difference has been reported between men and women. Women do, however, have smaller arches.

Notwithstanding, no theoretical form fits all arches and no curve describes the outline of the "normal" arch.

Morphological distinctions between the Angle classes have been analysed by Braun et al. [10] who show that, distal of the incisor-canine segment, Class II maxillary arches are narrower

Classe I, en distal du groupe incisivo-canin. Pour les deux classes, les longueurs sont identiques.

L'avènement de la morphométrie géométrique offre des nouvelles possibilités d'exploration des variations morphologiques faciales en général et des arcades dentaires en particulier.

Matériels et méthode

L'échantillon étudié est constitué de 40 modèles en plâtre d'arcades humaines maxillaires supérieures. Les modèles sélectionnés présentent une denture adulte complète au maxillaire comme à la mandibule (au moins 28 dents). Les sujets sont âgés d'au moins 15 ans (deuxièmes molaires en occlusion, avec les apex fermés). Les sujets sont en Classe I ou II d'Angle (II, 1 et II, 2). Les individus sont en bonne santé et d'origine indifférente (*Tableau I*).

L'enregistrement des pointes cuspidiennes a été fait sur les modèles maxillaires. Les coordonnées de 30 points ont été enregistrées sur chaque modèle, correspondant aux pointes cuspidiennes des molaires, prémolaires et canines et aux angles mésiaux et distaux des incisives centrales et latérales (*Tableau II*). Cet enregistrement a été réalisé au moyen d'un MICROSCRIBE®. Cet appareil permet d'enregistrer chaque point dans les trois dimensions de l'espace. Une carte électronique calcule les coordonnées x, y, z de chaque point, puis les coordonnées sont transmises à l'ordinateur.

Le logiciel d'analyse par superposition (APS®) permet l'étude de variations morphologiques [9, 10]. Le logiciel est basé sur une méthode statistique appelée « superposition Procruste ou Procruste ». La base de la méthode est la représentation simultanée de différents spécimens par superposition [11, 12, 13]. La superposition Procruste permet de modéliser les variations morphologiques, ici des arcades dentaires, sans faire intervenir le facteur taille. Ce n'est pas à proprement parler la forme des arcades qui est étudiée mais sa conformation, autrement dit les proportions relatives. Etudier la morphologie de différentes formes en les superposant pose le problème du choix du plan de référence car les déplacements de structures anatomiques diffèrent selon le point d'observation. Avec la méthode cette difficulté n'existe plus.

La superposition Procruste comprend trois étapes :

- 1) la mise à l'échelle ;
- 2) la translation ;
- 3) la rotation.

Tableau I

Répartition du nombre d'arcades dentaires en fonction de la classe d'Angle.

Classes d'Angle	I	II	II
		1	2
Nombre de spécimens	19	13	8

than those in Class I.. Arch lengths in the two groups are identical.

The advent of geometric morphometry has opened up new horizons for the study of facial morphological variations in general and of dental arch variations in particular.

Materials and Method

The study sample comprises 40 plaster moulds of upper maxillary human arches. The casts selected show a complete adult dentition on both upper and lower jaws (at least 28 teeth). Individuals were aged at least 15 years (occluded second molars with closed apexes). All were Angle Class I or II (II,1 and II,2), in good health and of different origins (*Table I*).

Readings of the cusp tips were taken on the maxillary casts. The parameters of thirty points were recorded on each mould corresponding to the molar, premolar and canine cusp tips as well as to the mesial and distal angles of the central and lateral incisors (*Table II*). The recordings were performed using MICROSCRIBE®. This apparatus recorded each point in all three spatial dimensions. An electronic map calculates the x, y, and z of each point. The coordinates are then downloaded on the computer.

A superimposition analysis software application (APS®) was used to study morphological variations [9, 10]. The software integrates a statistical method called "Procrustes (or Procrustean) superimposition". Essentially, the method gives a simultaneous representation of different specimens by superimposition [11, 12, 13]. Procrustes superimposition makes it possible to model morphological variations, in this case in dental arches, without taking into account the size factor. Strictly speaking, it is not the arch form which is analysed but its shape, that is, its relative proportions. Studying the morphology of different forms by superimposition raises the issue of which reference plane to adopt since the displacement of anatomical structures varies according to the point from which they are observed. Using the Procrustes technique, this problem is eliminated.

Procrustean superimposition comprises three phases:

- 1) scaling;
- 2) translation;
- 3) rotation.

Table I

Break-down of dental arches according to Angle Class.

Angle class	I	II	II
		1	2
Specimen number	19	13	8

Tableau II

Les 30 points enregistrés sur les arcades maxillaires avec leurs coordonnées cartésiennes

Table II

The 30 points recorded on the maxillary arches with their Cartesian coordinates.

		x	y	z
1	Sommet de la cuspide distovestibulaire de 17/Top of the disto-buccal cusp of 17	102.6413	117.0424	17.4635
2	Sommet de la cuspide mésiovestibulaire de 17/Top of the mesioo-buccal cusp of 17	104.1275	123.7759	19.1000
3	Sommet de la cuspide distovestibulaire de 16/Top of the disto-buccal cusp of 16	105.0618	130.4546	20.9954
4	Sommet de la cuspide mésiovestibulaire de 16/Top of the mesioo-buccal cusp of 16	106.1814	137.1190	21.1838
5	Sommet de la cuspide vestibulaire de 15/Top of the buccal cusp of 15	109.2416	141.9431	22.8471
6	Sommet de la cuspide vestibulaire de 14/Top of the buccal cusp of 14	112.9034	149.0040	24.0911
7	Sommet de la cuspide de 13/Top of the cusp of 13	116.8223	157.5862	23.4578
8	Angle distal de 12/Distal angle of 12	121.5340	162.5895	23.2570
9	Angle mésial de 12/Mesial angle of 12	127.8895	160.3083	26.2337
10	Angle distal de 11/Distal angle of 11	127.7819	164.4232	26.5768
11	Angle mésial de 11/Mesial angle of 11	136.1970	164.2865	26.8738
12	Angle mésial de 21/Mesial angle of 21	137.2913	165.3072	26.5694
13	Angle distal de 21/Distal angle of 21	145.4381	162.9360	26.3220
14	Angle mésial de 22/Mesial angle of 22	148.7650	170.8634	19.8939
15	Angle distal de 22/Distal angle of 22	152.9358	162.7683	26.7263
16	Sommet de la cuspide de 23/Top of the cusp of 23	156.8128	160.7504	25.7057
17	Sommet de la cuspide vestibulaire de 24/Top of the buccal cusp of 24	156.8128	160.7504	25.7057
18	Sommet de la cuspide vestibulaire de 25/Top of the buccal cusp of 25	160.9871	150.4006	26.5530
19	Sommet de la cuspide MV de 26/Top of the MB cusp of 26	164.8419	144.2859	25.9428
20	Sommet de la cuspide DV de 26/Top of the DB cusp of 26	167.5069	138.5561	24.1219
21	Sommet de la cuspide MV de 27/Top of the MB cusp of 27	168.4164	131.0685	24.2821
22	Sommet de la cuspide DV de 27/Top of the DB cusp of 27	168.4902	124.3255	23.7960
23	Sommet de la cuspide ML de 27/Top of the ML cusp of 27	170.5746	118.4499	22.1198
24	Sommet de la cuspide ML de 26/Top of the ML cusp of 26	162.4058	122.0629	22.7273
25	Sommet de la cuspide linguale de 25/Top of the lingual cusp of 25	160.1469	131.7948	23.8541
26	Sommet de la cuspide linguale de 24/Top of the lingual cusp of 24	157.8384	140.4370	24.0302
27	Sommet de la cuspide linguale de 14/Top of the lingual cusp of 14	154.1476	147.7099	24.3054
28	Sommet de la cuspide linguale de 15/Top of the lingual cusp of 15	119.6788	145.6604	25.0180
29	Sommet de la cuspide ML de 16 /Top of the ML cusp of 16	116.0356	137.5945	25.3478
30	Sommet de la cuspide ML de 17/Top of the ML cusp of 17	113.7147	129.3499	25.5648

Après la mise à l'échelle, toutes les arcades ont la même taille et on peut les superposer. En effet, les théoriciens ont prouvé qu'une superposition sans élimination des différences de taille est biaisée. Ensuite on réalise une translation qui fait coïncider les centres géométriques de chaque arcade les uns avec les autres. Avec la rotation, on oriente toutes les arcades afin de minimiser les écarts entre points anatomiques homologues. Pour toutes ces étapes, on utilise la totalité des 30 points anatomiques définis. On peut ainsi se passer de plan de référence.

Après les superpositions, on calcule une conformation moyenne – appelée aussi consensus – pour tout l'échantillon. Chaque conformation est exprimée comme la déviation par rapport au consensus. Pour une meilleure visualisation graphique, chaque point correspondant à un individu est relié au point homologue du consensus par un petit vecteur. Les étapes suivantes sont le calcul des composantes de conformation puis l'analyse statistique des données. Avec les composantes de conformation, les types de déformation retrouvés fréquemment au sein de l'échantillon sont mis en évidence. A chacune des composantes est associée une valeur propre ; plus cette valeur propre est grande, plus la composante explique une part importante de la variabilité totale de l'échantillon. Pour l'analyse statistique on utilise ici la fonction discriminante. Cette fonction met en évidence un changement de conformation lié à l'appartenance à l'un des deux groupes prédéfinis (classe d'Angle par exemple). Le logiciel permet de visualiser ce changement de conformation. Le coefficient de détermination (R^2) et le test F de Fisher permettent de savoir si la différence entre les groupes est significative. S'il n'y a pas de différence entre les deux groupes, le R^2 sera égal à 0. Dans le cas contraire, le R^2 sera égal à 1. Dans la réalité il prend une valeur intermédiaire entre 0 et 1. Le test de Fisher (test F) compare les valeurs calculées de F pour les données réelles, avec les valeurs théoriques contenues dans la table de Fisher. Si la valeur du F calculé est supérieure à la valeur critique, on rejettera une hypothèse nulle d'existence d'une seule population [14]. Le F est plus un test statistique que le R^2 . Il prend en considération les effectifs de l'échantillon.

L'asymétrie entre les moitiés droites et gauches des arcades dentaires peut perturber l'analyse de leur forme. Pour éliminer ce phénomène, un calcul de symétrisation des arcades dentaires a été réalisé sur l'ensemble de l'échantillon. La méthode utilisée ici pour symétriser est dérivée de celle de Mongini [15]. L'arcade symétrique calculée par cet auteur est la moyenne entre la forme initiale et son image dans un miroir. Cette procédure, relativement facile à mettre en œuvre pour des représentations planes des arcades, peut être étendue à trois dimensions. La méthode Procruste autorise le retournement d'une structure tridimensionnelle – comme on retourne un gant. Chaque forme finale analysée est donc la moyenne entre la forme initiale et son image dans un miroir tridimensionnel. Cette opération a été réalisée avec le logiciel Symetry® (PENIN 2002).

Once a common scale has been applied, the arches are all the same size and can be superimposed. Theoreticians have demonstrated, in fact, that a bias occurs when differences of size are not eliminated from the superimposition process. The translation stage is then performed whereby the geometrical centres of the arch are made to fit exactly with each other. All the arches can be rotated in order to minimize the gaps between the homologous anatomical points. During these stages, all the 30 defined anatomical points are used. Consequently no reference plane is required. Once the superimposition phase has been completed, a mean shape – also termed a "consensus" – is calculated for the entire sample. Each shape is expressed in terms of its deviation from the consensus. To provide a visually clearer image, each point on a given individual is connected via a small vector to the corresponding point on the consensus. The next stage involves calculating the components of the shape followed by statistical analysis of the data. Using the shape components it is possible to show the frequently recurring deviations within the sample. A specific value is attributed to each component; the higher this value the more the component contributes to the total variability within the sample. For the purposes of statistical analysis, the discriminating function is used. This function pinpoints any difference of shape attributable to one of the two predefined groups, the Angle classes, for instance. The computer program makes it possible to visualise this shape deviation. The determination coefficient R^2 and the Fisher F test show the extent of the difference between the groups. If there is no difference, R^2 will equal 0. Otherwise, R^2 will be 1. In practice, it ranges somewhere between 0 and 1. The F test compares the calculated values of F for the real data with the theoretical values listed in the Fisher table. If the calculated F value is greater than the critical value one can reject the null hypothesis that there exists a single population [14]. The F is a more statistical test than R^2 . It takes into account the numbers of individuals in the sample.

Asymmetry between the right and left halves of the dental arches can interfere with the analysis of their form. To eradicate this problem, a calculation was performed for the entire sample group in order to restore symmetry. The symmetrifying technique used in this study is derived from the method of Mongini [15]. The symmetrical arch as calculated by the latter author is the mean of the initial form and its mirror image. This procedure is relatively easy to implement for planar representations of the arches but can also be applied to three-dimensional representations. The Procrustes method also allows a three-dimensional structure to be turned inside out, similar to a glove. Each final analysed form thus constitutes a mean between the initial form and its reflection in a three-dimensional mirror. This operation was performed using the Symetry® software program (PENIN 2002).

Résultats

Conformation des arcades

La *figure 1* montre les 40 individus symétrisés superposés simultanément. Le consensus ou conformation moyenne est représenté par les traits noirs reliant tous les points-repères moyens. La position de chacun des 30 points-repères de chaque individu est représentée par un petit carré et le numéro correspondant. La *figure 2* montre la forme d'une arcade maxillaire moyenne. Elle présente une forme antérieure circulaire et une forme globale proche de la parabole.

Le calcul des composantes de conformation effectué à partir des résultats de superposition décompose la variabilité morphologique totale de l'échantillon en types de variations. Les composantes sont classées par ordre d'importance décroissante (*Tableau III*). Les 4 premières résument presque 70 % de la variabilité totale de l'échantillon. Toutes les suivantes n'en décrivent que 30 %. Comme

Results

Arch shaping

Figure 1 shows the 40 symmetrified individuals superimposed simultaneously. The consensus or average shape is shown by the black lines connecting all the average landmark points. The position of each of the 30 landmarks for each individual is shown by a small square and its corresponding number. *Figure 2* shows the form of a mean maxillary arch. It is characterized by a circular anterior form and by an overall form resembling a parabola.

The calculation of the shape components performed on the basis of the superimposition results provides a break down of the overall morphological variations classified as types of variation. The components are classified in decreasing order of importance (*Table III*). The first four cover roughly 70% of the total variations within the sample. All the following represent only 30%. As com-

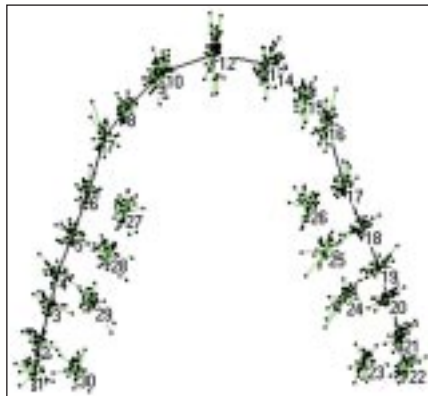


Fig. 1 : Représentation des différents individus superposés.

Fig. 1: Representation of different superimposed individuals.

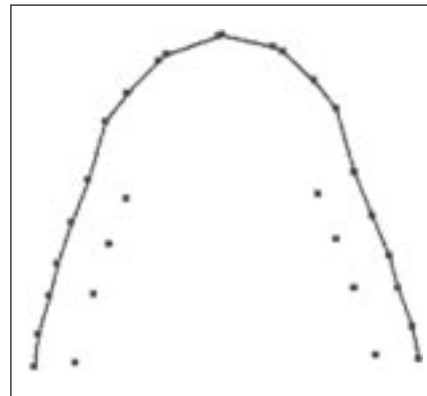


Fig. 2 : Vue occlusale du consensus.

Fig. 2: Occlusal view of the consensus.

Tableau III

Pourcentage de variance associé aux 4 premières composantes.

Numéro d'ordre/ Sequence number	Variance associée/ Associated variance	Variance cumulée/ Cumulated variance
Première composante/First component	33,087624 %	33,087624 %
Deuxième composante/Second component	17,519799 %	50,607423 %
Troisième composante/Third component	12,436410 %	63,043833 %
Quatrième composante/Fourth component	6,782556 %	69,826389 %

Table III

Percentage of variance associated with the 4 first components.

on considère habituellement que les composantes associées à des petits pourcentages ne représentent que des variations individuelles [9], les 4 premières composantes suffisent ici à décrire l'essentiel des variations typiques des formes d'arcades dentaires.

La première composante représente environ un tiers de la variabilité totale de l'échantillon. La *figure 3* montre les deux extrêmes du changement de conformation associés à la première composante. La principale variation morphologique est constituée à la fois d'un mouvement des incisives centrales et des dents cuspidées. Les incisives latérales et les canines restent stables. On assiste à un passage des centrales d'une position linguale à une position vestibulaire de part et d'autre du consensus et simultanément à un mouvement des groupes cuspidés d'une position vestibulaire à une position linguale de part et d'autre du consensus avec passage d'une convexité à une concavité de la partie postérieure de l'arcade. Globalement on passe d'une arcade grossièrement elliptique à une arcade en lyre relativement plus longue et moins large.

La deuxième composante représente 17,5 % de la variabilité totale de l'échantillon. La *figure 4* montre les deux extrêmes du changement de conformation associés à la deuxième composante.

ponents related to small percentages are generally held to represent only individual variations [9], the first four components can adequately describe the main features connected with typical variations found in dental arch forms.

The first component represents roughly a third of the total variance within the group. *Figure 3* highlight the two extremes in shape change associated with the first component. The main morphological variation consists of a movement of both the central incisors and of the premolar and molar teeth. The lateral incisors and the canines remain stable. The central incisors are observed to shift from a lingual to a vestibular location on either side of the consensus accompanied by a shift from convexity to concavity in the posterior segment of the arch. Globally speaking, one witnesses a shift from a roughly elliptic arch to a relatively elongated and narrower lyre-shaped one.

The second component represents 17.5% of the total variability of the sample. *Figure 4* show the two extremes observed in shape change associated with the second component. The latter is

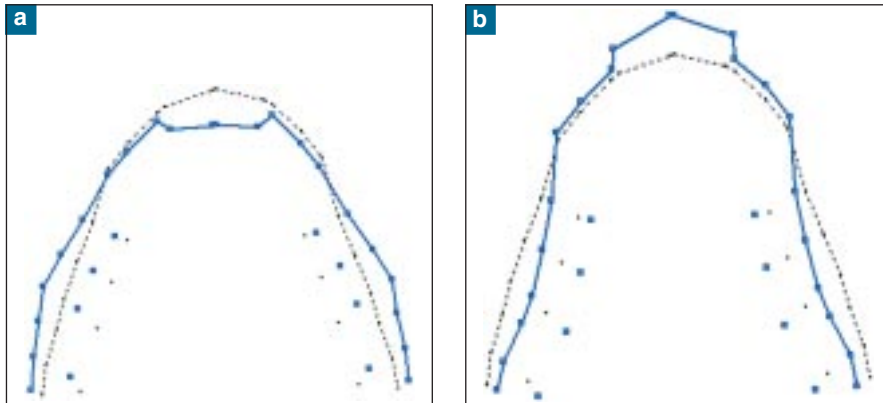


Fig. 3 a-b : Visualisation des deux extrêmes associés à la première composante.
Fig. 3 a-b: Visualization of the two extremes associated with the first component.

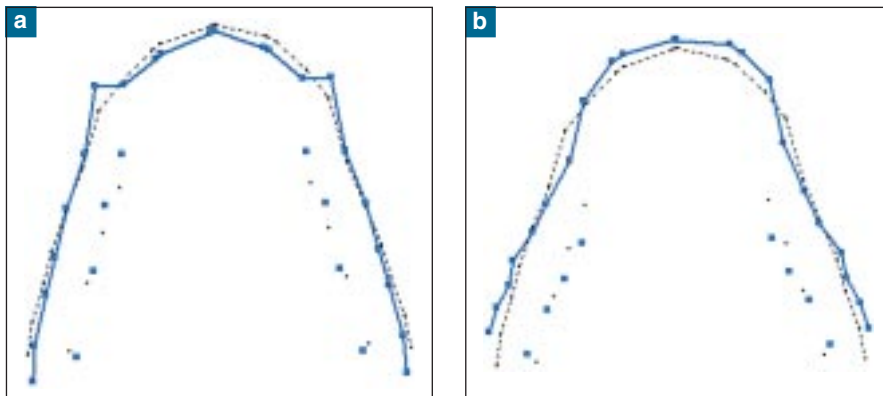


Fig. 4 a-b : Visualisation des deux extrêmes associés à la deuxième composante.
Fig. 4 a-b: Visualization of the two extremes associated with the second component.

Elle est caractérisée par un changement de proportion entre les secteurs antérieurs et postérieurs. Ce changement est dû essentiellement au changement de position relative de la canine qui passe, par rapport au consensus, d'une position mésio-vestibulaire à une position disto-linguale. Dans le même temps, les dents cuspidées ont un mouvement de rotation mésio-vestibulaire selon leur grand axe (fig. 5). Ces mouvements s'accompagnent logiquement d'un élargissement de l'arcade dans la région postérieure.

La troisième composante représente 12,4 % de la variabilité totale de l'échantillon. Les figures 6a et 6b montrent les deux extrêmes du changement de conformation associés à la troisième composante. Elle se distingue de celle associée à la deuxième composante par le fait que le mouvement disto-lingual de la canine est accompagné d'une rotation disto-linguale des dents cuspidées selon leur grand axe. Ces mouvements s'accompagnent logiquement d'un rétrécissement de l'arcade dans la région postérieure.

La quatrième composante représente 6,8 % de la variabilité totale de l'échantillon. La figure 7 montre les deux extrêmes du

characterized by a change of proportion between the anterior and posterior sectors. This change is due essentially to the relative change of position of the canine which moves, relative to the consensus, from a mesio-vestibular to a disto-lingual position. Simultaneously, the premolars and molars undergo a mesio-vestibular rotation around their main axis (fig 5). These movements are normally accompanied by a widening of the arch in the posterior region.

The third component represents 12.4 % of the total variability of the sample. Figures 6a and 6b show the extremes in the change of shape undergone by the third component. It differs from the change found with the second component in that the disto-lingual movement of the canine is accompanied by disto-lingual rotation of the premolars and molars around their main axis. These movements are normally accompanied by a narrowing of the arch in the posterior region.

The fourth component represents 6.8% of the total variability found in the sample. Figure 7 show the two extremes in the

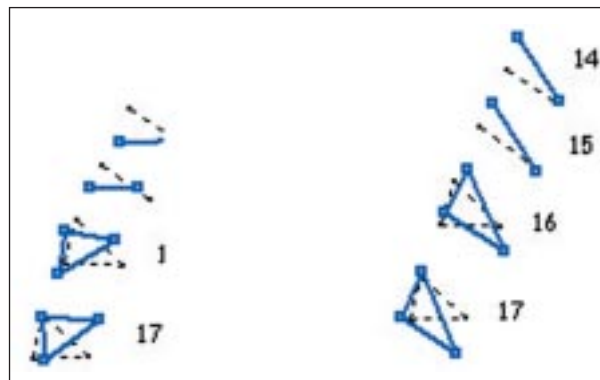


Fig. 5 : Vue occlusale du mouvement de rotation des dents cuspidées associé à la 2^e composante.

Fig. 5: Occlusal view of the movement of the premolars and molars associated with the 2nd component.

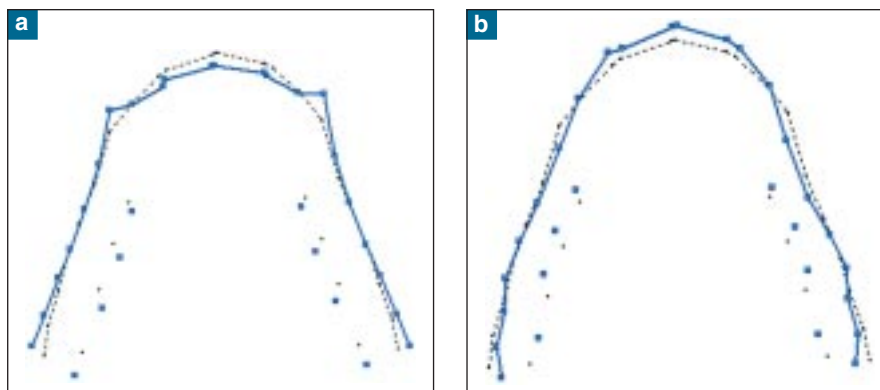


Fig. 6 a-b : Visualisation des deux extrêmes associés à la troisième composante.

Fig. 6 a-b: Visualization of the two extremes associated with the third component.

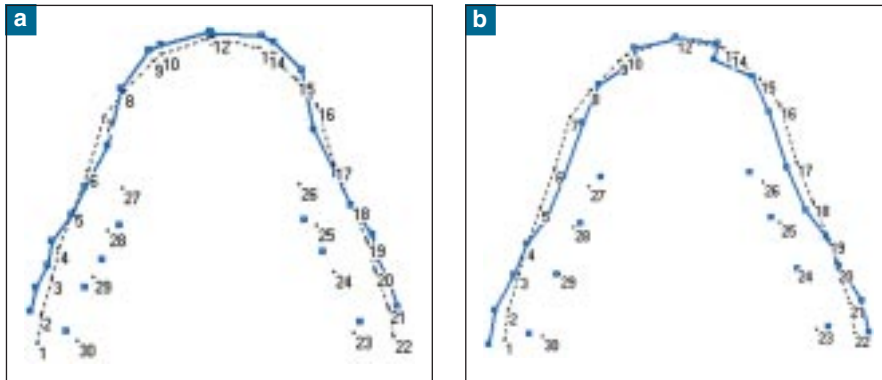


Fig. 7 a-b : Visualisation des deux extrêmes associés à la quatrième composante.
Fig. 7 a-b: Visualization of the two extremes associated with the fourth component.

changement de conformation associés à la quatrième composante. On observe un mouvement de rotation des incisives latérales et des groupes cuspidés.

Discrimination entre hommes et femmes

Des tests de discrimination sont réalisés entre deux groupes définis : l'un représentant la population féminine soit 15 individus, l'autre la population masculine soit 18 individus. Les sept arcades non prises en compte correspondent à des individus dont le sexe n'a pas été communiqué. Les résultats de ces tests apparaissent dans le *tableau IV*. Ils ne mettent pas en évidence de dimorphisme sexuel. La valeur du F de Fisher ne dépasse pas 0,28 avec 2,31 *degrés de liberté* ; ce qui n'est pas significatif ($p < 0,75$).

Le test de Student qui permet de comparer les moyennes des tailles de deux petits échantillons indépendants a été réalisé sur 33 individus, 15 femmes et 18 hommes. Le résultat ($t = 0,183$) montre qu'il n'existe pas de différence significative de taille des arcades entre les deux sexes, au risque usuel α de 5 %.

change of shape associated with the fourth component. One observes a rotational movement of the lateral incisors and of the groups.

Male – Female differences

Tests are performed to differentiate two clearly defined groups, one representing the female population (15 individuals), the other the male population (18 individuals). The seven arches not covered by the test belonged to individuals of unknown gender. The results of the se tests are shown in *table IV*. They reveal no gender-related dimorphism. The Fisher F value does not exceed 0.28 with (2.31) degrees of freedom. This result is not significant ($p < 0.75$).

The Student test, which compares the mean sizes of two small independent samples, was done on 33 individuals, 15 women and 18 men. The result ($t = 0.183$) shows that there is no significant difference of arch size between the two sexes, with the usual α risk of 5%.

Tableau IV

Résultats des tests de discrimination homme/femme.

	R ² / R ²	F/ F	ddl/ dof	$\alpha < /$ $\alpha <$
1 composante/1 component	0.0072	0.23	1,32	0.63
2 composantes/2 components	0.0188	0.28	2,31	0.75
3 composantes/3 components	0.0238	0.24	3,30	0.86
4 composantes/4 components	0.0238	0.17	4,29	0.95

(ddl = degrés de liberté).
(dof = degrees of freedom).

Table IV

Results of the male/female differentiation test.

Discrimination entre les Classes I et II

Des tests de discrimination sont réalisés entre deux autres groupes : celui représentant la population en classe I soit 19 individus et celui des classes II soit 21 individus. Les résultats apparaissent dans le *tableau V*.

La valeur statistique du test de discrimination pour une composante, visant à différencier morphologiquement la Classe I et la Classe II d'Angle est peu significative. En d'autres termes, les changements liés à la première composante principale ne permettent pas de différencier les deux classes.

La valeur statistique du test de discrimination pour deux composantes est significative ($F = 11,14$ avec 2,37 ddl, $p < 0,00016$). Les caractéristiques morphologiques de la classe I correspondent à une arcade grossièrement hyperbolique avec un secteur antérieur arrondi. Les caractéristiques morphologiques de la classe II correspondent à une arcade plus étroite en postérieur qui s'accompagne d'une tendance à un encombrement antérieur avec une position vestibulée des canines (*fig. 8*). De la Classe I à la Classe II, les dents cuspidées subissent un mouvement de rotation disto-linguale suivant leur grand axe.

Tableau V

Résultats des tests de discrimination classe I/classe II.

	R ² / R ²	F/ F	ddl/ dof	α < / α <	CVD/ CVD			
					1	2	3	4
1 composante/1 component	0.006	0.22	1.38	0.64	1			
2 composantes/2 components	0.38	11.14	2.37	0.00016	0.09	-0.99		
3 composantes/3 components	0.42	8.65	3.36	0.00018	0.08	-0.93	0.34	
4 composantes/4 components	0.58	11.21	4.35	0.000006	0.06	-0.66	0.24	0.70

Differentiation between Classes I and II

Tests were performed to differentiate two other groups: the Class I population (19 individuals) and the Class II population (21 individuals). Results are shown in *table V*. Namely the Class I population (19 individuals) and the Class II group (21 individuals). The results are given in *table V*.

The statistical value of the differentiation test taking one component and aimed at establishing a morphological distinction between Angle Class I and Class II is non-significant. In other words, the changes related to the first main component do not allow a distinction to be made between the two classes.

The statistical value of the differentiation test taking two components is significant ($F = 11,14$ with 2.37 ddl, $p < 0.00016$). The morphological characteristics of Class I correspond to a roughly hyperbola-shaped arch with a rounded anterior segment. The morphological characteristics of class II correspond to a narrower arch posteriorly accompanied by a tendency towards anterior crowding with vestibulated canines (*fig. 8*). From Class I to Class II, the premolar-molar teeth undergo a disto-lingual rotation around their main axis.

Table V

Results of the Class I / Class II differentiation test.

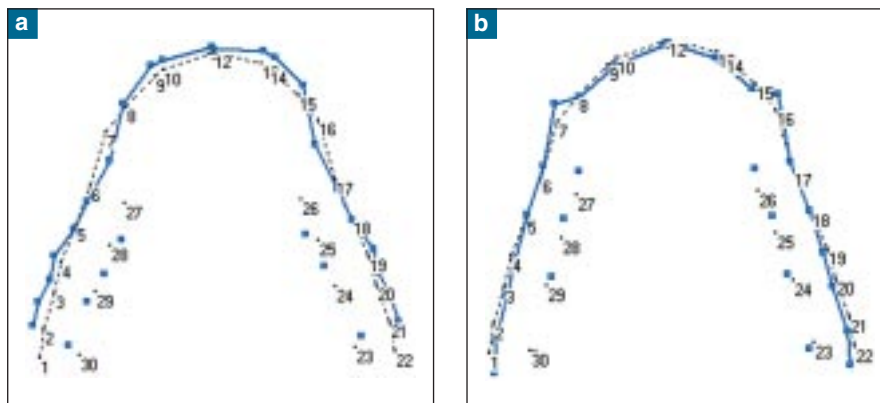


Fig. 8 a-b : Vue occlusale des deux extrêmes associés à la discrimination entre Classe I et II pour les deux premières composantes.

Fig. 8 a-b: Occlusal view of the two extremes associated with the distinction between Class I and II related to the first two components.

La valeur statistique du test de discrimination est significative pour trois composantes. Toutefois, l'ensemble des variations morphologiques associées à ces trois composantes ne met pas en évidence de nouveaux changements morphologiques.

La valeur statistique du test de discrimination est très significative pour quatre composantes ; la quatrième composante est très influente. Les variations morphologiques sont confirmées avec en plus, un mouvement de faible amplitude des incisives latérales. Celles-ci prennent, par rapport aux incisives centrales, une position vestibulaire en Classe I et linguale en Classe II. Globalement, l'arcade correspondant à la Classe II est relativement plus allongée dans le plan sagittal et plus étroite dans le plan frontal (fig. 9).

The differentiation test taking three components is statistically significant. Nonetheless, all the morphological variations associated with these three components fail to pinpoint any new morphological changes.

The differentiation test is statistically significant applied to four components. The fourth component is extremely influential. The morphological changes are confirmed accompanied by a slight movement of the lateral incisors. Relative to the central incisors, the lateral incisors take up a vestibular position in Class I and a lingual position in Class II. Generally speaking, the arch corresponding to the class II is relatively long in the sagittal plane and narrower in the frontal plane (fig. 9).

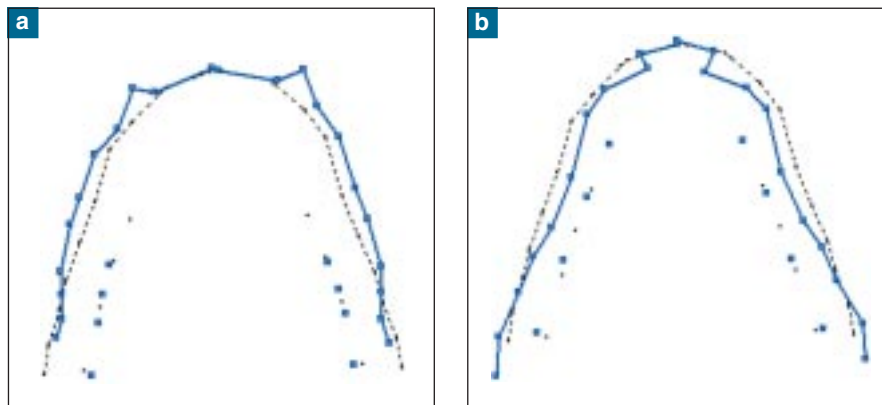


Fig. 9 a-b : Vue occlusale des deux extrêmes associés à la discrimination entre Classe I et II pour les quatre premières composantes.

Fig. 9 a-b: Occlusal view of the two extremes associated with the distinction between Class I and II related to the first four components.

Discussion

La forme moyenne, ou consensus, calculée ici ne s'inscrit dans aucune des théories qui proposent une description paramétrique de la forme des arcades. Elle confirme les conclusions de White [5] et Genone et al. [6] ainsi que celles de Felton et al. [8] qui considèrent qu'il est vain de tenter de caractériser un contour d'arcade moyen représentant l'ensemble des arcades « normales » étudiées. L'arcade moyenne présente une forme antérieure circulaire qui corrobore les conceptions de Hawley, Tweed et Slavicek. En revanche, sa forme globale proche de la parabole, est sensiblement différente de l'interprétation de Currier [3] qui, par une analyse mathématique informatisée, décrit une arcade « moyenne » en forme d'ellipse.

La principale variation morphologique des arcades observées dans cette étude correspond à un passage d'une arcade grossièrement elliptique et relativement plus large et plus courte à une arcade en lyre, proportionnellement plus allongée et moins large.

Discussion

The mean shape or calculus calculated here matches none of the theories which offer a parametric description of arch forms. It confirms the conclusions of White [5] and Genone et al. [6], as well as of Fenton et al. [8] who hold that it is pointless trying to characterize a mean arch form representative of all the "normal" arches investigated. The mean arch presents a circular anterior shape corroborating the opinions of Hawley, Tweed and Slavicek. In contrast, its overall forms resembles that of a parabola and is fairly far removed from the view of Currier [3] who, using a computerized mathematical analysis, came up with an ellipse-shaped arch.

The chief morphological variation in the arches examined in this study involves a shift from a roughly elliptic arch which is relatively broader and shorter to a lyre-shaped arch which is proportionately longer and narrower. This variation is accompanied by

Cette variation s'accompagne de mouvements des incisives centrales et des dents cuspidées. Plus précisément, lorsque les centrales passent d'une position linguale à une position vestibulaire, les groupes cuspidés passent d'une position vestibulaire à une position linguale avec passage d'une convexité à une concavité de la partie postérieure de l'arcade.

Les résultats sont conformes aux conclusions de Raberin et al. [9] qui ne mettent pas en évidence de dimorphisme sexuel ; il n'existe pas de différence de conformation des arcades dentaires entre hommes et femmes. En revanche, cette étude ne permet pas d'affirmer que les arcades des femmes ont des dimensions inférieures.

La différence observée pour l'échantillon étudié n'est pas suffisamment significative ($\alpha = 9\%$).

La discrimination entre les Classes I et II d'Angle, qui apparaît dans les résultats de cette étude, présente un intérêt certain. *La valeur statistique du test de discrimination avec quatre composantes est très significative. Or, toutes les composantes sont cumulées lors du test de discrimination, les variations morphologiques décrivant le mieux le phénomène biologique étudié sont donc celles mises en évidence avec quatre composantes.* La Classe I correspond à une arcade relativement plus large et plus courte que celle de Classe II. On passe d'une arcade globalement elliptique en Classe I à une arcade grossièrement hyperbolique en Classe II. De plus, les incisives latérales prennent, par rapport aux incisives centrales, une position vestibulaire en Classe I et linguale en classe II. Globalement, l'arcade correspondant à la Classe II est, proportionnellement, plus allongée dans le plan sagittal et plus étroite dans le plan frontal. Ces différences morphologiques entre les Classes d'Angle corroborent les conclusions de Braun et al. [10].

Conclusion

Cette étude permet d'envisager la grande variabilité des formes d'arcades dentaires.

L'arcade consensus ou arcade moyenne de l'échantillon présente une forme antérieure circulaire et une forme globale proche de la parabole.

Les différentes variations de la conformation des arcades aboutissent à des formes représentant la totalité des coniques, à savoir : l'ellipse, la lyre, la parabole et l'hyperbole, et les nombreuses formes qui en dérivent. Il est donc vain de tenter de caractériser un contour d'arcade moyen représentant l'ensemble des arcades « normales » étudiées.

Il n'y a pas d'allométrie, c'est-à-dire pas de changement de conformation de l'arcade, en relation avec les différences de taille des arcades entre elles.

Les résultats de cette étude ne mettent pas en évidence de dimorphisme sexuel.

Les caractéristiques morphologiques de la classe I correspondent, selon cette étude, à une arcade relativement plus large et plus courte que celle de Classe II. On passe d'une arcade globalement elliptique en Classe I à une arcade grossièrement hyperbolique en Classe II, associée à une rotation mésio-vestibulaire des dents cuspidées selon leur grand axe.

movements of the central incisors and of the premolar-molar teeth. To be more precise, when the central incisors move from a lingual to a vestibular position, the premolar-molar groups shift from a vestibular to a lingual position accompanied by a change from convexity to concavity of the posterior segment of the arch.

These results concord with the conclusions reached by Raberin et al. [9] who supply no evidence of sexual dimorphism. There is no difference of dental arch shape between men and women. On the other hand, this study provides no proof that female arches are smaller in size.

The difference observed in the study sample is not sufficiently large ($\alpha = 9\%$).

The distinction between Angle Class I and II which emerges from the findings of this study is of some interest. *The statistical value of the differential test using four components is highly significant. The scores for all the components are added together during the differential test. Hence, the morphological variations which best describe a given biological phenomena under investigation are those obtained using four components.* Class Is show a relatively wider and shorter arch than Class IIs. Whereas Class Is, globally speaking, have an elliptical arch, Class IIs are roughly hyperbolic. In addition, in relation to the central incisors, the position of the laterals is vestibular in Class I whereas it is lingual in Class II. Globally speaking, the Class II type arch is proportionately longer in the sagittal plane and narrower in the frontal plane. These morphological differences between Angle classes confirm the findings of Braun et al. [10].

Conclusion

This study highlights the great variability of dental arch forms.

The arch consensus or mean arch in the sample displays, anteriorly, a rounded form and, overall, a parabola-like form.

The different variations in the shape of the arches ultimately provide forms which cover all the different types of cones, namely: the ellipse, the lyre, the parabola and the hyperbola, and their numerous derived forms. There is no point, therefore, in defining a mean arch outline representing all the "normal" arches investigated.

There is no allometry, in other words, no change in the shape of the arches related to the differences of size between them.

This study demonstrated no presence of sexual dimorphism.

The morphological features of Class I, in our study, match a relatively wider and shorter arch than is found in Class II. In Class I, the arch is, globally speaking, elliptical as opposed to the roughly hyperbolic form of the Class II arch found in association with a mesio-vestibular rotation of the teeth around their main axis.

Les résultats obtenus montrent les possibilités de la superposition Procruste dans l'étude des variations morphologiques cranio-faciales. Cette méthode associe la rigueur mathématique à la simplicité dans l'exploitation des résultats. En effet, la significativité des changements de conformation est testée statistiquement et les résultats peuvent être visualisés graphiquement.

Des différences de morphologie entre les arcades des individus en Classe II, 1 et celles de ceux en Classe II, 2 d'Angle ont pu être pressenties dans cette étude, mais la taille de l'échantillon doit être supérieure pour une exploitation statistique sérieuse.

The results obtained demonstrate the potential of the Procrustes superimposition technique for the analysis of cranio-facial morphological variations. This method combines mathematical exactness and easy analysis of results. Moreover, the significance of any changes in shape can be tested statistically and the results can be viewed graphically.

In this study, the presence of morphological differences between the arches of Angle Class II,1 and Class II,2 individuals was suspected. However, the sample size needs to be bigger to justify serious statistical analysis.

Références / References

1. Izard G. New method for the determination of the normal arch by the function of the face. *Int J Orthod* 1927.
2. Cornaill M, Sicher EA. The ideal form of the human dental arcade with some prosthetic applications. *The Dental Record* 1949;69:235.
3. Currier JH. A computerized geometric analysis of human dental arch form. *Am J Orthod* 1969;59:164-78.
4. Brader AC. Dental arch form related with intra-oral forces. *Am J Orthod* 1972:72.
5. White LW. An accurate indirect archwire technique. *J Clin Orthod* 1974;8:97-9.
6. Genone B, Fasolo P, Marini GR. L'arcade dentaire-Analyses biostructurales. *Revue Orthop dento-faciale* 1978;124:437.
7. Savostin I, Asling I. The geometric analysis of mandibular dental arch form. *Am Dent* 1980;39:3.
8. Felton JM, Sinclair PM, Jones DL, Alexander RG. A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92:478-83.
9. Raberin M, Laumon B, Martin JL, Brunner F. Dimensions and form of dental arches in subjects with normal occlusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:67-72.
10. Braun S, Hnat WP, Fender DE, Legan HL. The form of the human dental arch. *Angle Orthod* 2000;70:271-5.
11. Pénin X. Modélisation tridimensionnelle des variations morphologiques du complexe cranio-facial des hominoidea. Application à la croissance et à l'évolution. Thèse : Sciences de la terre : Paris VI, 1997.
12. Penin X. Exploration de la variabilité des formes faciales par les composantes de conformation. *Le Journal de l'Edgewise* 2000;41:39-53.
13. Rohlf F, Slice D. Extensions of the Procrustes methods for the optimal superimposition of landmarks. *Syst Zool* 1990;39:40-59.
14. Tomassone R, Audrain S, Lesquoy-de-Turckheim E *et al.* La régression, Nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique. 2^e ed. Paris : Masson ; 1992, 186 p.
15. Mongini F, Schmid W. Orthopédie cranio-mandibulaire et articulaire. ATM, 1992, Paris.