

La cartographie des sites anatomiques mini-implantaires au niveau de la première molaire maxillaire à l'aide du NewTom 3G®

Marius DUMITRACHE^{1*}, Annabelle GRENARD²

¹ 14 boulevard de la Reine, 78000 Versailles, France

² 37 avenue Henri Barbusse, 93220 Gagny, France

MOTS CLÉS :

Mini-vis /
Tomographie à faisceaux
coniques /
Cartographie anatomique /
Première molaire maxillaire

RÉSUMÉ – Introduction : Le but de notre étude est de fournir une cartographie des sites implantaires au niveau de la gencive attachée autour de la première molaire maxillaire pouvant servir à la pose des mini-vis à visée orthodontique. **Méthode :** 58 examens radiographiques issus de la technique *cone beam* (NewTom 3G®) sont examinés. Pour chaque espace interdentaire, entre 5/6 et entre 6/7, sont étudiées la largeur osseuse mésio-distale et la profondeur osseuse vestibulo-linguale à deux hauteurs différentes L1 et L2, qui correspondent respectivement aux bornes inférieure et supérieure de la gencive attachée dans la population générale. **Résultats :** Les largeurs interdentaires varient peu entre L1 et L2 et leurs variances sont comparables. Au niveau de l'espace 5/6, les largeurs interdentaires suivent une distribution gaussienne, ce qui permet de déterminer des intervalles de confiance aux deux bornes de la gencive attachée en fonction de l'âge : IC_{99%} sur L1 = [2,045 ; 3,462] de 12 à 17 ans ou [1,594 ; 2,519] de 18 à 24 ou [1,613 ; 2,5] de 25 à 48 ans et IC_{99%} sur L2 = [2,37 ; 3,69] de 12 à 17 ans ou [1,5 ; 2,613] de 18 à 24 ou [1,546 ; 2,619] de 25 à 48 ans. Les profondeurs interdentaires augmentent en direction apicale et leur variance diminue. Même si l'adéquation à la loi gaussienne est moins bonne que dans le sens sagittal, nous retrouvons une plus grande constance des profondeurs au niveau de l'espace 5/6, ce qui nous permet là aussi d'établir des intervalles de confiance très précis : IC_{99%} sur L1 = [9,213 ; 10,575] et IC_{99%} sur L2 = [10,295 ; 11,593]. **Conclusion :** Les régions mésiales de la première molaire constituent donc des zones de sûreté à condition d'utiliser, selon que le niveau de gencive attachée est faible ou important, des mini-vis de diamètre maximum 2–2,3 mm de 12 à 17 ans ou 1,5–1,6 mm de 18 à 48 ans et de maximum 9–10 mm de longueur. Les aires distales de la première molaire, du fait de leur grande variabilité, nécessitent une étude radiologique personnalisée.

KEYWORDS:

Miniscrew /
Cone beam /
Anatomic cartography /
Maxillary first molar

ABSTRACT – Mapping mini-implant anatomic sites in the area of the maxillary first molar with the aid of the NewTom 3G® system. Introduction: The goal of our study was to construct a map of the implant sites in the region of the attached gingiva around the maxillary first molars that would be appropriate locations for placement of miniscrews to serve as orthodontic anchorage. **Method:** We conducted 58 radiographic examinations with the NewTom 3G® cone beam technique. For each interdental space, between upper second bicuspids and first molars (5/6) and between upper first and second molars (6/7), we studied the mesio-distal width and depth of bucco-lingual bone at two different levels, L1 and L2, that corresponded to the lower and upper limits of the attached gingiva in the general population. **Results:** The widths of the interdental spaces varied very little between L1 and L2 and their variances

* Auteur pour correspondance : d.marius@wanadoo.fr

were comparable. At the level of the 5/6 space, the interdental widths displayed a Gaussian distribution, which made it possible for us to determine the confidence intervals at the two borders of attached gingiva as a function of age: $IC_{99\%}$ of L1 = [2.045 ; 3.462] from 12 to 17 years or [1.594 ; 2.519] from 18 to 24 or [1.613 ; 2.5] from 25 to 48 years and $IC_{99\%}$ of L2 = [2.37 ; 3.69] from 12 to 17 years or [1.5 ; 2.613] from 18 to 24 or [1.546 ; 2.619] from 25 to 48 ans. The interdental depths increased in an apical direction and their variance diminished. Even if the adequacy of the Gaussian law is less reliable in the sagittal plane, we find a greater consistency in depths in the spaces around 5/6 that allows us to establish very precise confidence levels: $IC_{99\%}$ of L1 = [9.213 ; 10.575] and $IC_{99\%}$ of L2 = [10.295 ; 11.593]. **Conclusion:** The mesial areas of the first molars constitute safe zones for implantation of miniscrews with a maximum of 2–2.3 mm for 12 to 17 years old or 1.5–1.6 mm for 18 to 48 year olds and of a maximum of 9–10 mm in length whether the attached gingival level is strong or feeble. The distal areas of the first molars, because of their great variability, require an individualized radiographic study before any mini/screw can be placed.

1. Introduction

L'introduction des mini-vis en orthodontie a révolutionné la pratique quotidienne en permettant la stabilité « absolue » de l'unité d'ancrage. Depuis la première utilisation par Creekmore et Eklund en 1983 [1], au niveau de l'épine nasale antérieure pour l'ingression des incisives maxillaires, l'efficacité clinique des dispositifs d'ancrage temporaires, dont font partie les mini-vis, a été démontrée pour des indications très variées telles que l'ingression, la protraction ou la distalisation molaire, la rétraction et/ou l'ingression des dents antérieures, la correction du plan d'occlusion, la correction non chirurgicale des béances squelettiques ou la correction des classes II et des classes III squelettiques [13, 20, 22].

De nombreux auteurs, comme par exemple Lin et Liou en 2003 [14], Kyung, *et al.* en 2003 [10], Maino, *et al.* en 2003 [17] ou Melsen et Verna en 2005 [18], ont proposé des systèmes mini-implantaires très différents avec des propositions de forme, de longueur et de diamètre des mini-vis variant beaucoup. En contraste avec ce grand débalage de systèmes mini-implantaires, il y a très peu d'études qui tentent d'établir une cartographie des zones de sûreté utilisables pour la pose de mini-vis. Ce manquement est en partie responsable de complications, telles que l'hypersensibilité, l'atteinte radiculaire ou des fractures de l'os alvéolaire résultant de la mauvaise insertion des mini-vis.

Nous avons voulu contribuer à cette cartographie anatomique au niveau d'un site anatomique largement utilisé cliniquement : la région de la première molaire maxillaire. Le but de notre travail a été d'obtenir une vue tridimensionnelle du volume osseux

de cette région qui pourra être utilisée par l'orthodontiste comme critère de choix de la mini-vis et par le chirurgien lors du geste opératoire. L'originalité de notre étude par rapport aux précédentes est l'établissement des zones de sûreté seulement au niveau de la gencive attachée et en prenant comme repère la ligne muco-gingivale, ce qui permet une utilisation clinique très aisée.

2. Matériel et méthodes

Il s'agit d'une étude descriptive transversale monocentrique.

2.1. Matériel

2.1.1. L'échantillon

Les patients sont recrutés dans l'ordre d'arrivée dans un cabinet de radiologie de la région parisienne. Ils consultaient pour une pathologie de l'appareil manducateur. L'étude est à la fois prospective et rétrospective en utilisant les examens radiologiques stockés dans le système informatique du cabinet. Seuls les côtés indemnes de toute pathologie inflammatoire, en particulier de toute parodontopathie, mais aussi de toute pathologie infectieuse et/ou tumorale seront étudiés.

Les critères d'inclusion des patients sont : la présence sur l'arcade de la seconde prémolaire, de la première et de la deuxième molaire maxillaires, l'absence de restaurations coronaires proximales sur la première molaire maxillaire pour avoir une intégrité de la jonction amélo-cémentaire et l'absence d'agénésie de prémolaires et de molaires mandibulaires

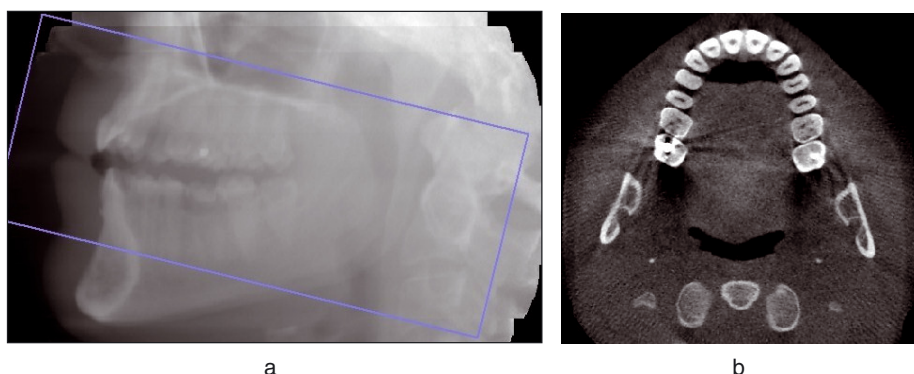


Figure 1

(a) Le mode « scout view » avec la boîte de reconstruction de l'espace de travail. (b) La coupe axiale choisie.

pouvant entraîner une égression maxillaire. Il n'y a pas de critères d'exclusion selon le sexe ou l'ethnie.

Après l'analyse d'une centaine d'examens tomodgraphiques, 58 patients ont été retenus. L'âge moyen des sujets est de 23 ans et demi avec des extrêmes allant de 12 ans à 48 ans.

2.1.2. Le recueil de l'information

L'appareil utilisé est un NewTom 3G® de la société italienne QR. Les acquisitions sont réalisées avec une tension de 110 kV pour une intensité de 5 à 20 mA. Le volume anatomique acquis est une sphère de 15 cm de diamètre. L'examen de chaque patient a duré 35 s, mais la durée d'exposition aux rayons X n'est que de 5,4 s. La dose émise est seulement de 1 à 7 mGy pour un champ de 9. On a utilisé pour les reconstructions une matrice de 1000×1000. Le système de traitement des données est composé du système opérateur : Windows XP® et du logiciel de reconstruction Newtom 3G Expert®. Les images sont stockées en format DICOM 3.

Les radiographies utilisées dans l'étude sont prises avec le même plan de référence : le plan palatin. À partir du volume d'acquisition primaire, des coupes de reconstruction axiales, panoramiques et frontales obliques sont réalisées pour chaque patient à l'aide du logiciel de reconstruction. Toutes les coupes tomodgraphiques obtenues sont jointives et font 1 mm d'épaisseur.

2.2. Méthodes

2.2.1. Les variables étudiées

Les mesures sont réalisées au niveau des espaces alvéolaires interdentaires situés entre la seconde

prémolaire et la première molaire (5/6) et entre la première molaire et la seconde molaire (6/7).

2.2.1.1. Choix des repères anatomiques

L'espace à reconstruire est sélectionné sur le cliché « scout view » à l'aide d'une boîte parallèle au plan palatin, centrée sur le maxillaire et comportant l'arcade mandibulaire afin de s'assurer de l'absence d'agénésie à l'arcade antagoniste (Fig. 1a).

La coupe axiale retenue pour faire les mesures passe au niveau des entrées canalaires de la première molaire maxillaire (Fig. 1b).

Sur chaque coupe axiale, on détermine un plan de référence sagittal C qui suit au mieux la coupe panoramique médiane, puis on construit un second plan de référence transversal C' centré sur la largeur mésio-distale de la première molaire et le plus perpendiculaire possible à C. Le logiciel reconstruit alors toutes les coupes panoramiques suivant l'axe de référence C et toutes les coupes transversales suivant l'axe C' (Fig. 2).

Sur la coupe panoramique centrée sur la première molaire, on trace un plan de référence L qui passe par les jonctions amélo-cémentaires proximales, mésiale et distale, de la première molaire (Fig. 3).

On dessine également deux autres plans parallèles entre eux et parallèles à la ligne de référence L qu'on appelle L1 et L2 et qui simulent respectivement les limites minimum et maximum de la gencive attachée. Tenenbaum H et Tenenbaum M [23] ont montré que la gencive attachée au niveau de la première molaire maxillaire a une hauteur allant de 2,8 à 4,26 mm par rapport à la jonction amélo-cémentaire vestibulaire. Comme sur une première molaire maxillaire, la hauteur entre la jonction

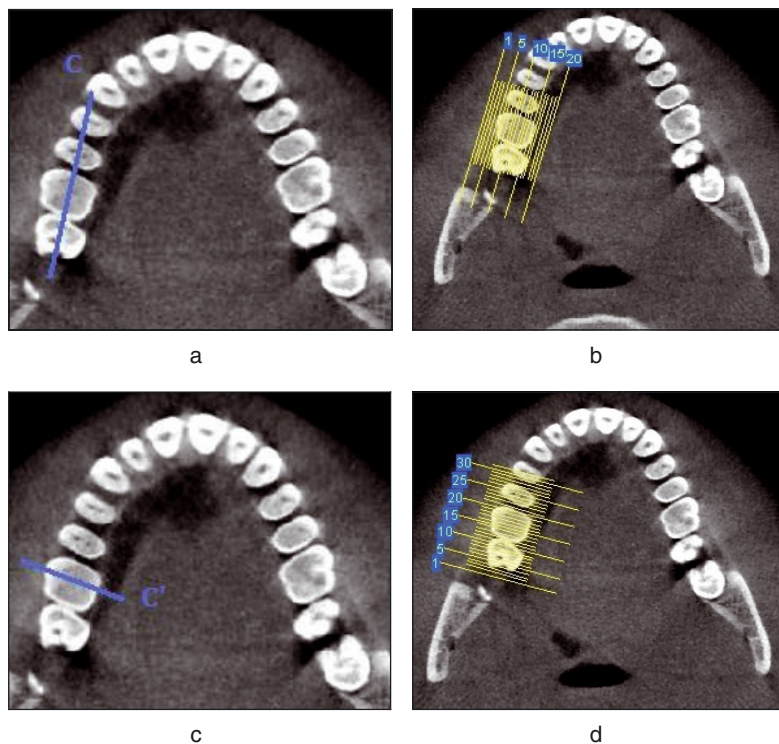


Figure 2

Les plans axiaux C (a) et C' (c) et leurs coupes de reconstruction correspondantes (b et d).

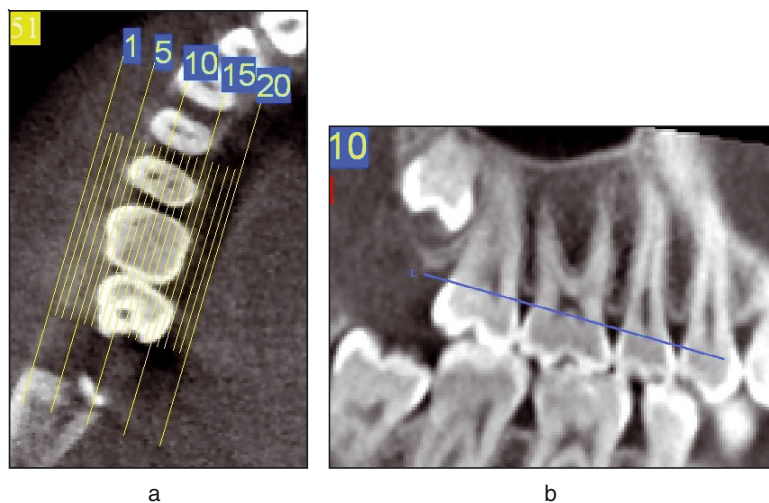


Figure 3

(a) Le choix de la coupe panoramique centrale numéro 10. (b) Le tracé du plan de référence L.

amélo-cémentaire vestibulaire et celle proximale va de 0 à 1 mm [11], on positionne avec une petite marge de sécurité L1 à 3 mm de la ligne L (Fig. 4a) et L2 à 4,5 mm de la ligne L (Fig. 4b). En supposant que le chirurgien installe les mini-vis au niveau la gencive attachée très près de la jonction muco-gingivale, le plan L1 matérialise la région osseuse prémolo-molaire utilisable chez les patients

avec peu de hauteur de gencive attachée (2,8 mm) et le plan L2 matérialise la région osseuse utilisable chez les patients avec beaucoup de gencive kératinisée (4,26 mm).

Parmi l'ensemble des coupes transversales reconstruites suivant l'axe C' par le logiciel, on en garde trois : la coupe T1 qui est centrée sur la première molaire, la coupe T2 qui est située dans

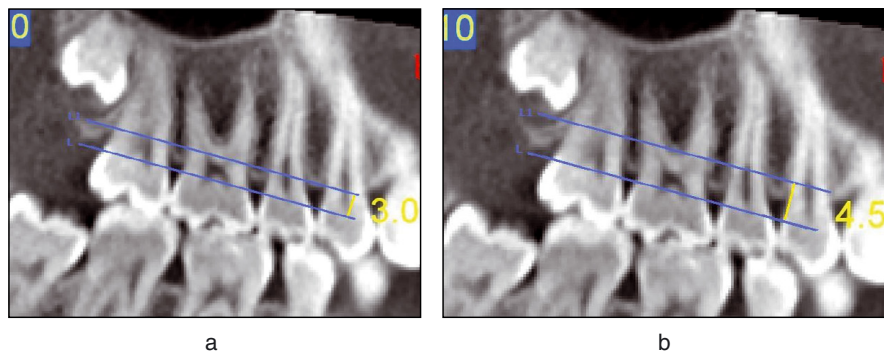


Figure 4

La matérialisation des plans L1 (a) et L2 (b) sur la coupe panoramique.

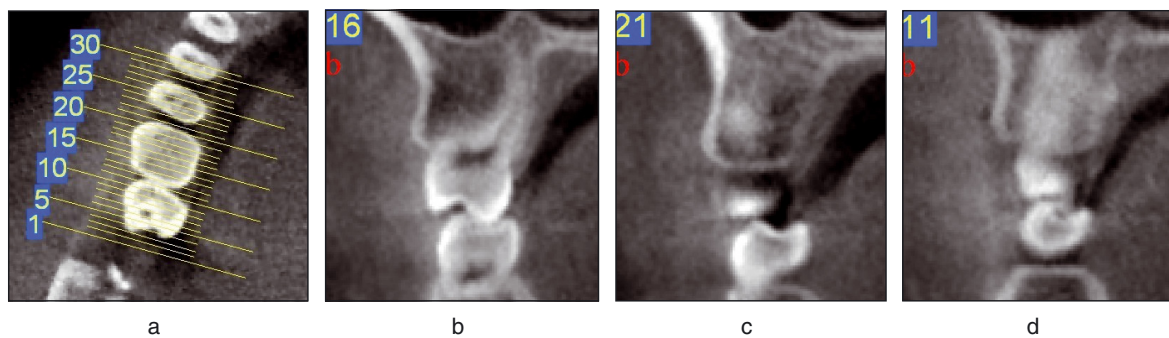


Figure 5

(a) Dans ce cas, les coupes 11, 16 et 21 sont sélectionnées sur la coupe axiale. Visualisation des coupes T1 (b), T2 (c) et T3 (d).

l'espace entre la première molaire et la seconde prémolaire à égale distance des deux dents et la coupe T3 qui est située dans l'espace entre la première molaire et la seconde molaire également à la même distance des deux dents (Fig. 5).

Sur la coupe T1, on choisit un plan de référence H qui réunit les jonctions amélo-cémentaires vestibulaire et linguale de la première molaire. Ce plan H est caractérisé par la hauteur à laquelle il se situe et par l'angle qu'il fait avec celle-ci (Fig. 6a).

Sur les coupes T2 et T3, on reporte ensuite le plan de référence H en gardant la hauteur et l'angulation de la coupe T1 (Fig. 6b et 6c). Le plan H symbolise la jonction amélo-cémentaire de la première molaire et son report sur les coupes T2 et T3 permet de l'utiliser comme ligne de référence pour nos mesures au niveau des espaces alvéolaires interdentaires.

Par rapport au plan H, on définit deux autres plans parallèles à ce plan de référence : H1 et H2 respectivement à 2,5 et 4 mm de H (Fig. 6d). Leurs hauteurs par rapport à la jonction amélo-cémentaire vestibulo-linguale correspondent aux hauteurs des lignes L1 et L2 dans le sens mésio-distal. La

différence de 0,5 mm entre les deux hauteurs est due au décalage vertical moyen entre le collet proximal et le collet vestibulaire de la première molaire maxillaire.

2.2.1.2. Les grandeurs mesurées

Dans le sens sagittal, on mesure sur la coupe panoramique correspondant au plan C, pour chaque espace interdentaire, l'épaisseur osseuse mésio-distale le long des plans L1 et L2 (Fig. 7a). On note respectivement de mésial en distal :

- l_{11} et l_{12} : les largeurs osseuses interdentaires alvéolaires sur le plan L1,
- l_{21} et l_{22} : les épaisseurs osseuses interdentaires alvéolaires sur le plan L2.

Dans le sens transversal, on mesure sur les coupes frontales obliques T2 et T3, pour chaque espace interdentaire, la profondeur osseuse vestibulo-linguale le long des plans H1 et H2 (Fig. 7b et 7c). On note respectivement d'avant en arrière :

- p_{11} et p_{12} : les profondeurs osseuses interdentaires alvéolaires sur le plan H1,

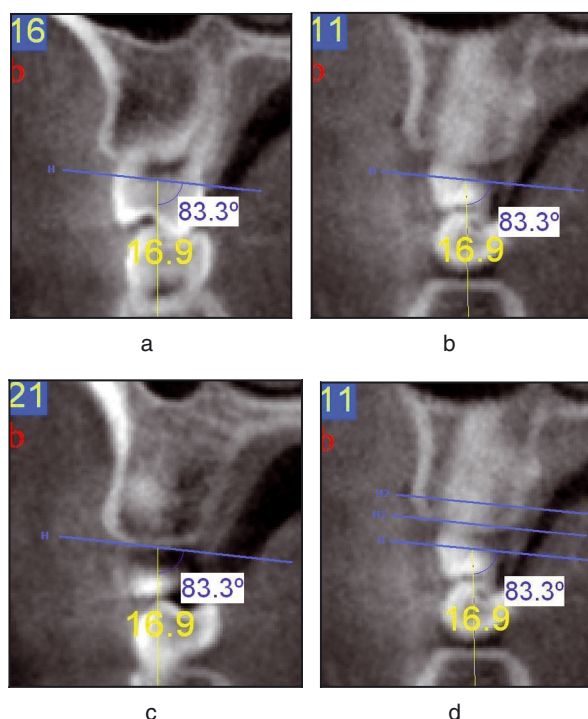


Figure 6

(a) La coupe T1 avec un plan H situé à 16,9 mm et angulé de 83,3. Le plan H est reporté sur les coupes T2 (b) et T3 (c). (d) Les plans H, H1 et H2.

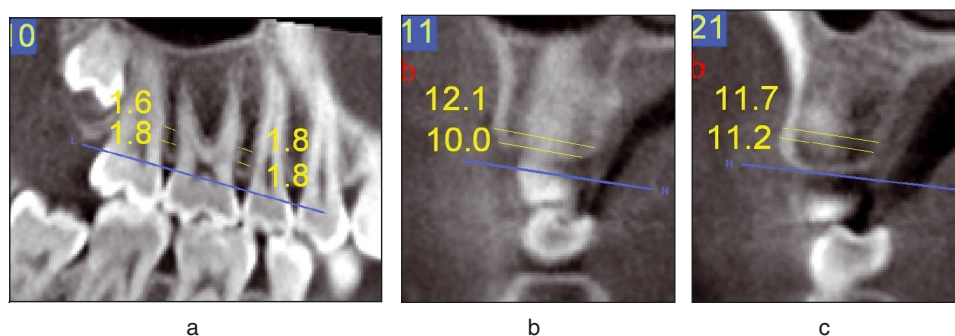


Figure 7

(a) Mesure des largeurs interdentaires entre 5/6 et entre 6/7. Mesure des profondeurs interdentaires entre 5/6 sur la coupe 11 (b) et entre 6/7 sur la coupe 21 (c).

- p_{21} et p_{22} : les profondeurs osseuses interdentaires alvéolaires sur le plan H2.

2.2.1.3. La procédure de mesure

Les mesures sont réalisées à l'aide du logiciel NewTom 3G[®]. Elles ont une précision de l'ordre du dixième après la virgule et sont toujours arrondies à la décimale inférieure. Les limites antérieure et postérieure des mesures sont le desmodonte ou, s'il n'est pas visible, on le considère à 0,25 mm de la surface

radiculaire. La limite externe est la face vestibulaire de la corticale alvéolaire. La limite interne correspond aux obstacles anatomiques comme le plancher du sinus maxillaire ou la face linguale de la corticale alvéolaire.

On a ainsi par hémi-maxillaire quatre mesures pour chaque espace interdentaire et deux espaces interdentaires entre 5/6 et entre 6/7, soit huit mesures par patient. Au total, le nombre de mesures est de 464.

Tableau 1
Statistiques descriptives des huit variables.

	Espace entre 5 et 6				Espace entre 6 et 7			
	l_{11}	l_{21}	p_{11}	p_{21}	l_{12}	l_{22}	p_{12}	p_{22}
Minimum	0,9	0,6	0,1	7,3	0,6	0,6	0,1	4,8
1 ^{er} quartile	1,7	1,7	8,5	9,6	1,2	1,2	7,7	11,0
Médiane	2,1	2,1	9,95	11,0	1,6	1,5	8,95	12,3
Moyenne	2,214	2,286	9,726	10,94	1,705	1,571	8,348	11,86
3 ^e quartile	2,8	3,0	11,1	12,4	2,1	2,0	10,9	13,3
Maximum	4,2	4,7	13,7	14,9	3,4	3,2	14,6	18,1
Écart-type	0,819	0,962	2,304	1,854	0,571	0,612	4,045	2,498

2.2.2. L'analyse statistique

L'échantillon comporte huit variables que sont les largeurs et les profondeurs des espaces interdentaires entre la seconde prémolaire et la première molaire et entre la première et la seconde molaire à deux hauteurs différentes. Ces variables sont issues de 58 sujets choisis de façon aléatoire.

Une analyse descriptive préliminaire de l'échantillon est faite à partir des 464 mesures recueillies. Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour démontrer la normalité des variables, puis le test « *t* » de Student a été employé pour déterminer les intervalles de confiance à 99 % des différentes variables. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a permis de comparer plusieurs moyennes lors de l'analyse selon l'âge. Une modélisation mathématique a été recherchée par régression.

L'analyse statistique a été faite avec les logiciels R® version 2.9.1 et Tinn R® version 1.17.2.4. Le risque d'erreur α est de 5 % pour chaque test effectué.

3. Résultats

L'ensemble des grandeurs statistiques descriptives est illustré dans le tableau 1.

3.1. Les mesures sagittales

La plus grande largeur interdentaire se situe au niveau de l'espace 5/6 sur la ligne L2. Cependant, les largeurs interdentaires l_{11} et l_{21} , ainsi que l_{12} et l_{22} sur les deux plans L1 et L2 sont très semblables en moyenne avec des écart-types comparables (Fig. 8).

Au niveau de l'espace interdentaire 6/7, l'épaisseur osseuse est moindre. Sur la ligne L2, il y a moins d'os interdentaire à cause de la courbe de Spee qui est plus marquée sur les deuxième molaires.

La distribution de ces grandeurs est illustrée par les histogrammes en proportion. Sur chaque histogramme, la densité de la loi gaussienne correspondante est représentée pour comparer graphiquement le rapprochement entre ces deux distributions (Fig. 9).

Ces histogrammes démontrent que les largeurs l_{11} et l_{21} mesurées au niveau de l'espace 5/6 ont une distribution qui se rapproche de la loi gaussienne, ce qui illustre une constance de ces grandeurs plus grande au niveau de cet espace par rapport à l'espace 6/7. Le test de Kolmogorov-Smirnov d'adéquation à la loi gaussienne de même moyenne et de même écart-type est significatif statistiquement au seuil de 5 % seulement pour ces deux largeurs (p -value = 0,5194 pour l_{11} et p -value = 0,47 pour l_{21}).

Pour ces deux variables, en utilisant le test « *t* » de Student, on peut écrire les intervalles de confiance à 99 % :

- $IC_{99\%}(l_{11}) = [1,927 ; 2,5]$;
- et $IC_{99\%}(l_{21}) = [1,949 ; 2,623]$.

3.2. Les mesures transversales

Les profondeurs interdentaires augmentent en direction apicale et leur variance diminue.

La plus grande profondeur interdentaire se situe au niveau de l'espace 6/7 sur la ligne H2. Sur la ligne H1, un sujet n'a pas d'os au niveau de l'espace 5/6 alors que 7 sujets n'ont pas d'os au niveau de l'espace 6/7. Au niveau de l'espace interdentaire 6/7, sur le plan H1, la profondeur osseuse est moins importante en moyenne qu'au niveau de l'espace interdentaire 5/6 et la variance des mesures est beaucoup plus grande.

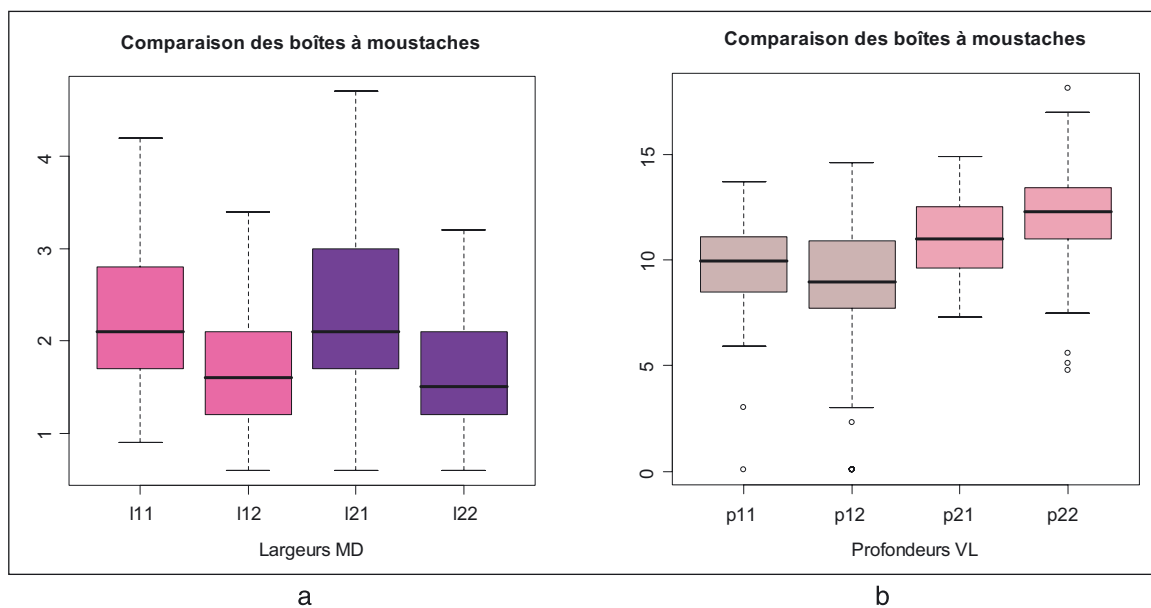


Figure 8

Comparaison graphique des moyennes et des écart-types des largeurs interdentaires (a) et des profondeurs interdentaires (b).

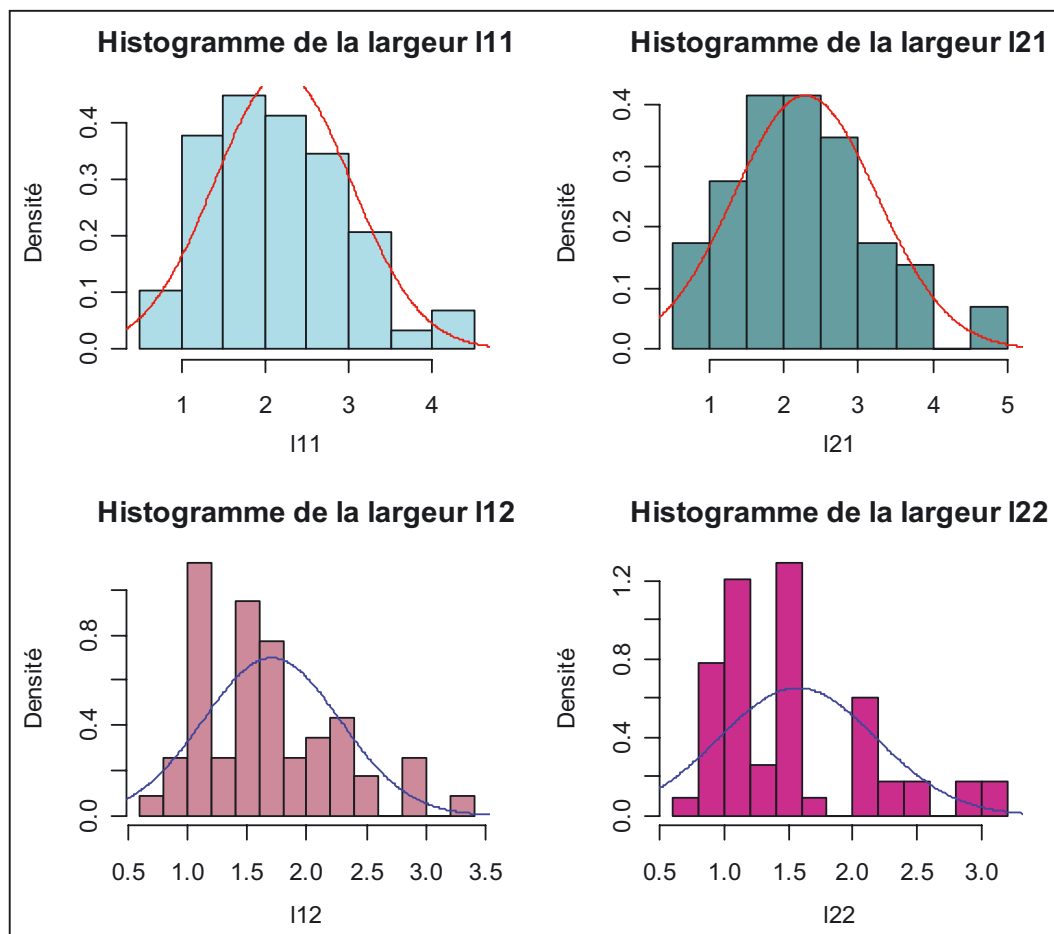


Figure 9

Les histogrammes des mesures sagittales et les lois normales correspondantes.

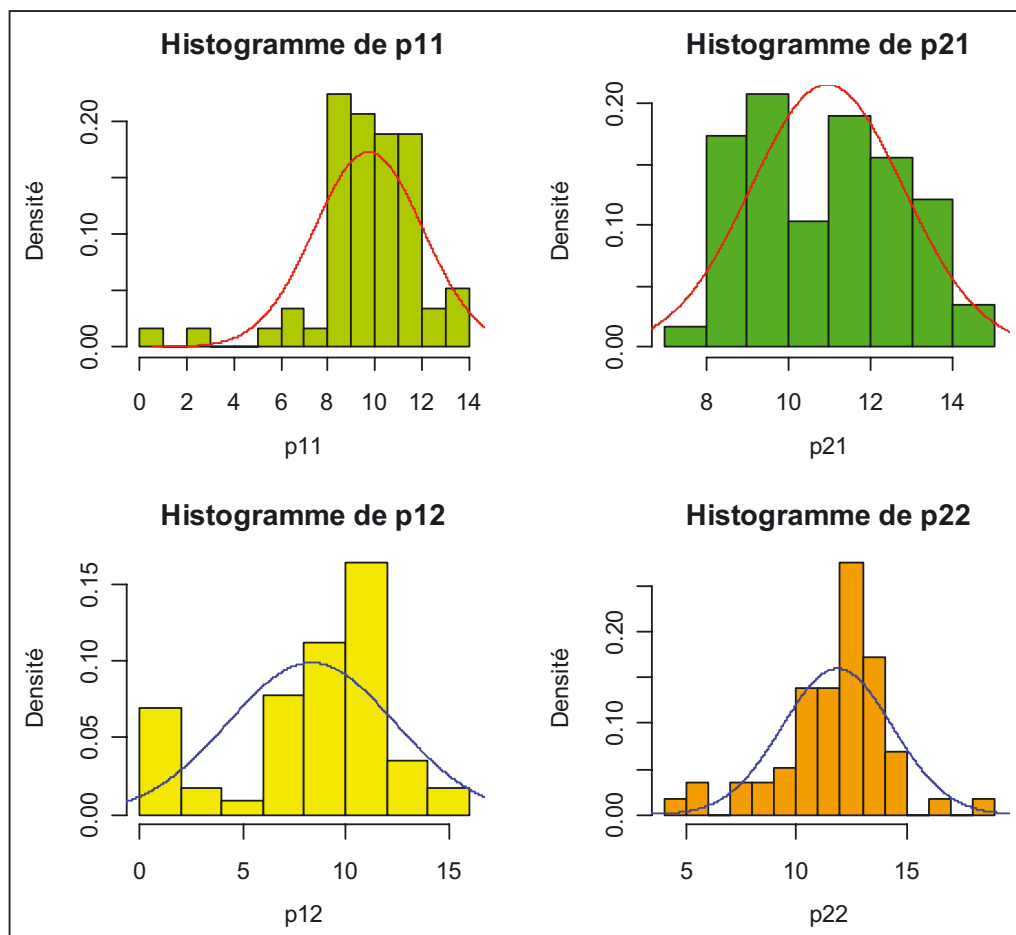


Figure 10

Les histogrammes des mesures transversales et les lois normales correspondantes.

La distribution de ces grandeurs et leur rapprochement de la loi gaussienne correspondante sont également illustrés par les histogrammes en proportion (Fig. 10).

Même si l'adéquation à la loi gaussienne est moins bonne que dans le sens sagittal, nous retrouvons une plus grande constance des profondeurs au niveau de l'espace 5/6. Le test de Kolmogorov-Smirnov est significatif statistiquement au seuil de 5% seulement pour p_{21} (p -value = 0,2281) à cause d'un sujet qui n'a pas d'os au niveau d'une mesure p_{11} . Si on élimine cette valeur atypique, le test devient statistiquement significatif (p -value = 0,7).

Pour la profondeur p_{21} , on peut calculer l'intervalle de confiance à 99 % : $IC_{99\%}(p_{21}) = [10,295 ; 11,593]$.

Pour la profondeur p_{11} , on peut écrire l'intervalle de confiance à 99 % en éliminant le sujet atypique :

- nouvelle moyenne = 9,895 ;

- nouvel écart-type = 1,929 ;
- $IC_{99\%}(p_{11}) = [9,213 ; 10,576]$.

3.3. L'influence de l'âge

Au niveau de l'espace interdentaire 5/6, l'analyse a été affinée en divisant l'échantillon en trois groupes d'âges : 12 à 17 ans, 18 à 24 ans et 25 à 48 ans. La distribution des trois domaines d'âge ainsi obtenus peut être visualisée sur l'histogramme général de l'âge (Fig. 11).

Nous avons ensuite noté les sous-variables des largeurs et des profondeurs interdentaires avec un indice « a » pour le premier groupe d'âges, avec un indice « b » pour le deuxième groupe d'âges et avec un indice « c » pour le dernier groupe d'âges. Par exemple, pour l_{11} , les trois sous-variables sont l_{11a} , l_{11b} et l_{11c} .

Les statistiques descriptives de base de ces sous-variables sont illustrées dans le tableau 2.

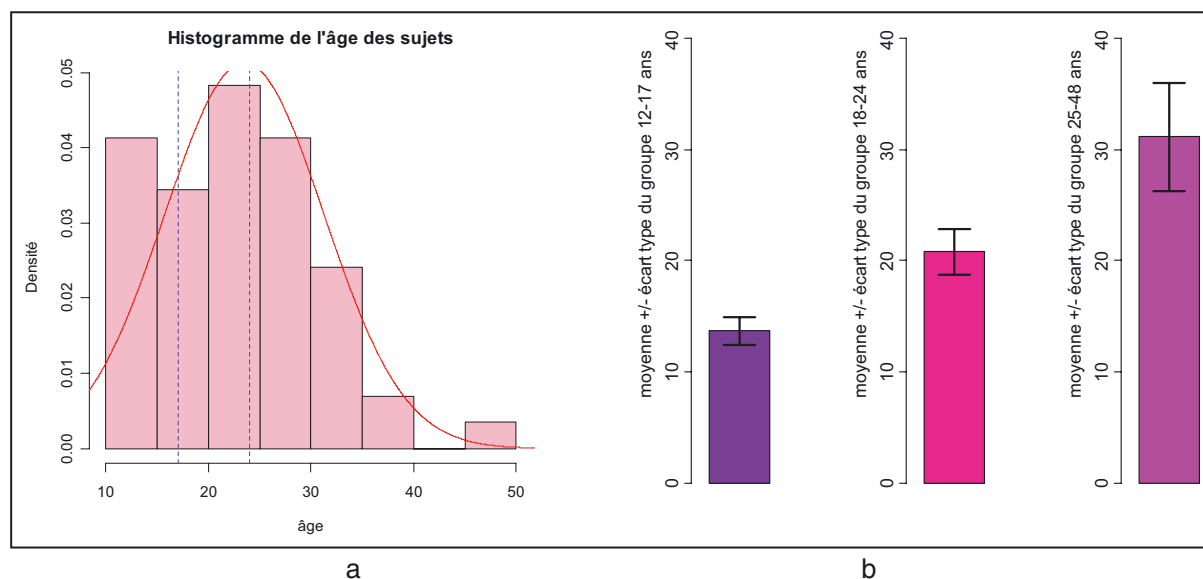


Figure 11

Histogramme de l'âge (a) et sa dispersion dans les trois groupes (b).

Tableau 2
Statistiques descriptives des douze sous-variables.

	l_{11a}	l_{11b}	l_{11c}	l_{21a}	l_{21b}	l_{21c}
Moyenne	2,754	2,057	2,058	3,031	2,057	2,083
Écart-type	0,836	0,744	0,776	0,779	0,895	0,936
	p_{11a}	p_{11b}	p_{11c}	p_{21a}	p_{21b}	p_{21c}
Moyenne	11,19	9,676	8,975	11,86	10,8	10,58
Écart-type	1,66	1,593	2,776	1,867	1,685	1,896

Comme l'illustrent les boîtes à moustaches comparatives, l'âge influence les deux largeurs et les deux profondeurs au niveau de l'espace interdentaire 5/6 (Fig. 12). Les largeurs et les profondeurs interdentaires diminuent de 12 à 48 ans, mais le test de Kruskal-Wallis montre que ces différences ne sont pas statistiquement significatives pour p_{11} (p -value = 0,09) et p_{21} (p -value = 0,24) et prouve également qu'elles sont statistiquement significatives pour l_{11} (p -value = 0,05) et l_{21} (p -value = 0,009).

Compte tenu de la relative homogénéité selon l'âge, les intervalles de confiance à 99 % pour les deux profondeurs p_{11} et p_{21} restent inchangés.

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, toutes les sous-variables l_{11a} (p -value = 0,953), l_{11b} (p -value = 0,9866), l_{11c} (p -value de 0,4771), l_{21a} (p -value = 0,9683), l_{21b} (p -value = 0,3795) et l_{21c} (p -value = 0,5658) sont gaussiennes. En utilisant le test « t » de Student, on peut écrire les nouveaux

intervalles de confiance à 99 % pour les trois groupes d'âge :

- $IC_{99\%}(l_{11a}) = [2,045 ; 3,462]$ et $IC_{99\%}(l_{21a}) = [2,37 ; 3,69]$;
- $IC_{99\%}(l_{11b}) = [1,594 ; 2,519]$ et $IC_{99\%}(l_{21b}) = [1,5 ; 2,613]$;
- $IC_{99\%}(l_{11c}) = [1,613 ; 2,5]$ et $IC_{99\%}(l_{21c}) = [1,546 ; 2,619]$.

Pour une sécurité optimale lors de l'acte opératoire, il faudra donc prendre en compte l'âge du patient pour déterminer le diamètre maximum de la mini-vis.

3.4. La modélisation

Il n'y a aucune équation mathématique linéaire ou non linéaire permettant de relier ensemble les différentes variables ou les différentes sous-variables. Toutes les combinaisons âge/largeur/profondeur ont été essayées sans succès.

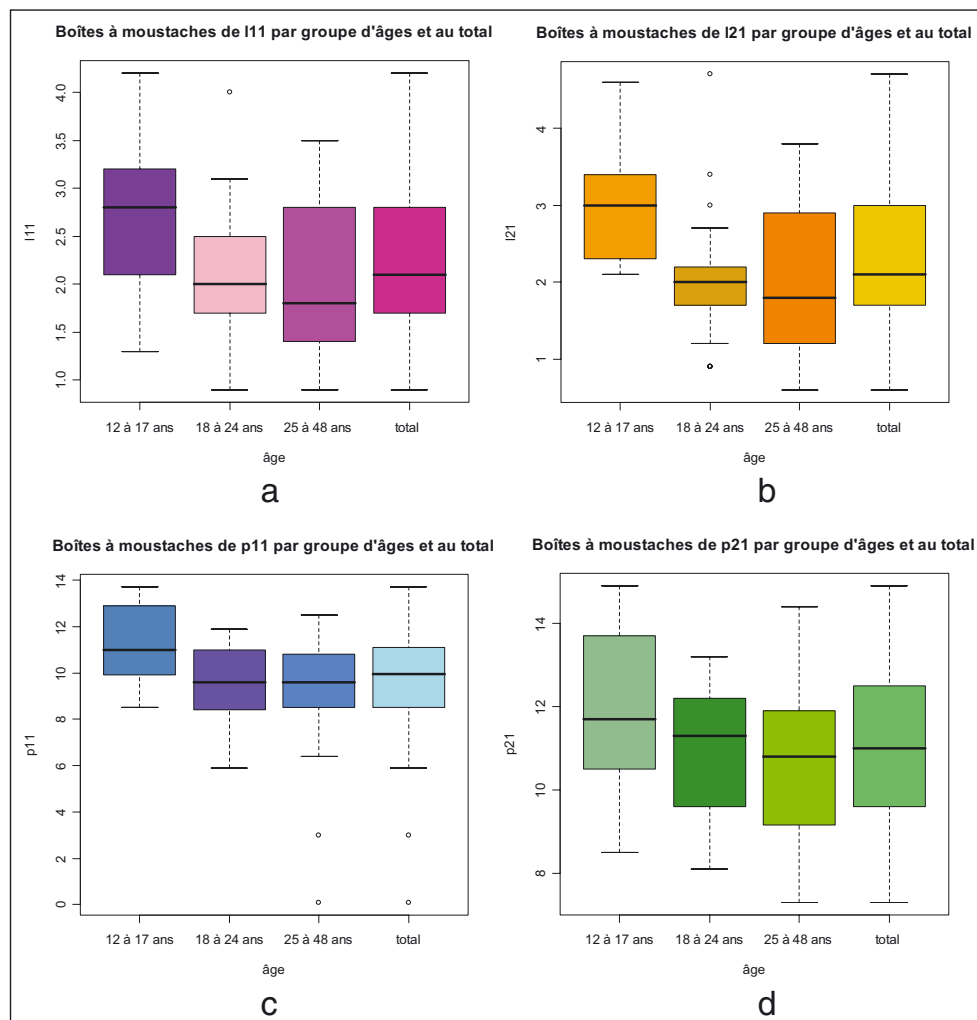


Figure 12

Comparaison des boîtes à moustaches des variables I_{11} (a), I_{21} (b), p_{11} (c) et p_{21} (d), selon l'âge.

4. Discussion

4.1. L'échantillon

Le nombre de personnes incluses dans notre étude est relativement important. Ceci améliore la généralisation des résultats par rapport aux études antérieures qui, au mieux, ont un échantillon de 30 sujets. Cependant, les écart-types restent grands, ce qui illustre une grande dispersion de la population autour de la moyenne. La variabilité est plus importante dans le sens mésio-distal à cause de la variabilité de l'angulation des dents et de la morphologie radiculaire.

Il couvre également un large éventail d'âge, de 12 à 48 ans. La moitié des sujets recrutés sont en période de croissance, car nous avons considéré que les sujets de 12 à 18 ans constituent une part importante de la population susceptible d'être traitée à

l'aide des thérapeutiques à ancrage mini-implantaire. Toutes les autres études se sont uniquement intéressées à des adultes jeunes et/ou à des adultes.

4.2. Les repères utilisés

Notre étude précise les différentes possibilités au sein de toute la hauteur de la gencive attachée puisqu'elle réalise des mesures à ses deux limites, haute et basse, observables cliniquement dans la population générale.

Nous avons fait le choix de ne nous intéresser qu'aux sites implantaires situés au niveau de la gencive kératinisée, car des études récentes parmi lesquelles celles de Kuroda, *et al.* en 2007 [9] montrent un taux de succès d'environ 90 % pour les mini-vis implantées au niveau de la gencive attachée. L'implantation au niveau de la muqueuse libre

est connue pour causer des irritations, de l'inflammation et pour aboutir davantage à la perte de la mini-vis. De plus, elle nécessite forcément d'enfouir la mini-vis, ce qui restreint ses utilisations thérapeutiques.

Les résultats présentés dans notre étude ont un repère facilement décelable en bouche : la jonction muco-gingivale, contrairement aux autres études qui utilisent la crête alvéolaire ou la jonction amélo-cémentaire. Ce repère a été choisi afin de permettre une application clinique simple.

4.3. Le diamètre et la longueur des mini-vis

Étant donné que l'un des buts de notre étude est de servir comme référence dimensionnelle à l'orthodontiste lors du choix de la mini-vis, la grande variabilité de la région 6/7 nécessite donc une analyse radiologique pré-opératoire individualisée.

Notre étude ne donne pas d'informations sur l'angulation à donner aux mini-vis mais, par un calcul trigonométrique simple, nous pouvons déduire la longueur maximale pour telle ou telle angulation. Les auteurs s'accordent à préconiser une angulation de 30–40° au maxillaire, ce qui permet d'augmenter la longueur de la mini-vis et de diminuer le risque d'atteinte radiculaire lors de son insertion.

Notre étude ne s'intéresse pas aux sites implantaires linguaux [3–6, 12, 21] ou infra-zygomatiques [16].

Compte tenu du grand nombre de patients et de la distribution gaussienne des grandeurs mesurées au niveau de l'espace 5/6, nous avons pu établir des intervalles de confiance à 99 % qui permettent une généralisation des résultats :

- Dans le sens sagittal, nous allons considérer les bornes inférieures des intervalles de confiance de l_{11} et de l_{21} comme les diamètres maxima des mini-vis que l'on peut utiliser en fonction de la hauteur de gencive attachée. Lindhe [15] estime à 0,25 mm l'espace occupé par le ligament alvéolo-dentaire autour de la dent. Lors de la réalisation des mesures, nous avons gardé l'espace parodontal comme espace de sécurité minimal. Poggio, *et al.* [21] préconisent de respecter une marge de sécurité de 1 mm entre la mini-vis et la surface radiculaire afin de préserver l'intégrité de celle-ci, mais avec une telle marge de sécurité le diamètre maximum des mini-vis utilisables en mésial de la première molaire deviendrait beaucoup trop

faible pour les sujets âgés de plus de 17 ans. Crismani, *et al.* [2] confirment notre idée en prouvant, par méta-analyse, que les mini-vis de 1 à 1,1 mm de diamètre ont un faible taux de succès. En conclusion, toutes les mini-vis d'un diamètre inférieur à 2 mm peuvent être utilisées chez les sujets âgés de 12 à 17 ans avec peu de hauteur de gencive attachée. Toutes les mini-vis d'un diamètre inférieur à 2,3 mm peuvent être employées chez les sujets âgés de 12 à 17 ans lorsqu'ils ont une hauteur importante de gencive attachée. Toutes les mini-vis de 1,5 mm de diamètre maximum peuvent être utiles chez les sujets âgés de 18 à 48 ans indifféremment de la hauteur de gencive attachée. Dans tous les cas, le diamètre minimum doit être de 1,2 mm.

- Dans le sens transversal, nous avons laissé comme espace de sécurité l'épaisseur de la corticale linguale soit 1,2–1,3 mm selon Hu, *et al.* [6]. Notre choix d'un appui bicortical est confirmé par l'étude de Morarend, *et al.* [19] qui montre qu'une mini-vis de 1,5 mm avec un appui bicortical possède une résistance d'ancrage au moins équivalente à celle d'une mini-vis de 2,5 mm de diamètre mais avec un appui monocortical. Les bornes inférieures des intervalles de confiance de p_{11} et de p_{21} constituent les longueurs maxima du corps des mini-vis utilisables selon le niveau de gencive adhérente. L'épaisseur de gencive kératinisée détermine la hauteur du col de la mini-vis. Kim, *et al.* [8] ont montré sur des dissections anatomiques que l'épaisseur maximum de gencive attachée est de 2 mm ($1,46 \pm 0,6$ mm) sur la ligne L1 et de 1,5 mm ($0,98 \pm 0,5$ mm) sur la ligne L2. En conclusion, chez les patients avec une faible hauteur de gencive attachée, la longueur du corps de la mini-vis doit être inférieure à 9 mm et le col doit au moins mesurer 2 mm. Chez les patients avec une grande hauteur de gencive attachée, la longueur maximum du corps doit être de 10 mm et le col doit au moins avoir 1,5 mm de hauteur. Il faut dans tous les cas une longueur minimum de 8 mm [2].

Malgré la difficulté de la comparaison, nos résultats sont globalement en accord avec ceux issus des études existantes : Ishii, *et al.* [7], Deguchi, *et al.* [3], Poggio, *et al.* [21], Hernandez, *et al.* [5] et Hu, *et al.* [6].

5. Conclusion

Les régions mésiales de la première molaire constituent des zones de sûreté à condition d'utiliser des mini-vis avec un corps d'environ 1,5 mm ou 2 mm de diamètre maximum selon l'âge du sujet et de 9 à 10 mm de longueur maximale selon la hauteur de gencive attachée. Ces valeurs constituent des indications à prendre en compte pour éviter tout dommage au niveau des tissus dentaires. Il reste cependant impossible d'établir un guide osseux standardisé de cette région pour éviter l'irradiation des examens radiologiques pré et post-opératoires.

Les régions distales de la première molaire, du fait de leur grande variabilité, nécessitent automatiquement une étude radiologique personnalisée.

Remerciements

Nous remercions très chaleureusement le Docteur Gérard Pasquet et sa formidable équipe, ainsi que le cabinet de radiologie dentaire Échelle Saint-Honoré, pour leur disponibilité et leur aide précieuse dans le recueil et l'analyse des clichés radiologiques.

Bibliographie

- [1] Creekmore T, Eklund MK. The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 1983;17:266–269.
- [2] Crismani AG, Bertl MH, Celar AG, Bantleon HP, Burstone CJ. Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:108–113.
- [3] Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H. Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(6):721.e7–721.e12.
- [4] Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:361–369.
- [5] Hernandez LC, Montoto G, Puente Rodríguez M, Galbán L, Martínez V. "Bone map" for safe placement of miniscrews generated by computed tomography. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:576–581.
- [6] Hu KS, Kang MK, Kim TW, Kim KH, Kim HJ. Relationships between dental roots and surrounding tissues for orthodontic miniscrew installation. *Angle Orthod* 2009;79:37–45.
- [7] Ishii T, Nojima K, Nishii Y, Takaki T, Yamaguchi H. Evaluation of the implantation position of mini-screws for orthodontic treatment in the maxillary molar area by a micro CT. *Bull Tokyo Dent Coll* 2004;45:165–172.
- [8] Kim HJ, Yun HS, Park HD, Kim DH, Park JC. Soft tissue and cortical bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:177–182.
- [9] Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Clinical use of miniscrew implant as orthodontic anchorage: success rate and postoperative discomfort. *Am J Orthod Dentofac* 2007;131:9–15.
- [10] Kyung HM, Park HS, Bae SM, Sung JH, Kim IL. Development of orthodontic microimplants for intraoral anchorage. *J Clin Orthod* 2003;37:321–328.
- [11] Lautrou A. Anatomie dentaire. Paris : Edition Masson, 1997: 241 p.
- [12] Lee KJ, Joo E, Kim KD, Lee JS, Park YC, Yu H.S. Computed tomographic analysis of tooth-bearing alveolar bone for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofac* 2009;135:486–494.
- [13] Lee JS, Kim JK, Park YC, Vanarsdall RL. Applications cliniques des mini-implants en orthodontie. Paris : Quintessence International, 2008:274 p.
- [14] Lin JC, Liou EJ. A new bone screw for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 2003;37:676–681.
- [15] Lindhe J. Textbook of clinical periodontology. Copenhagen: Munksgaard Denmark: 1984; 549 pages.
- [16] Liou EJW, Chen PH, Wang YC, Lin JCY. A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest on the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:352–356.
- [17] Maino BG, Bednar J, Pagin P, Mura P. The spider screw for skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 2003;37:90–97.
- [18] Melsen B, Verna C. Miniscrew implants: the Aarhus anchorage system. *Semin Orthod* 2005;11:24–31.
- [19] Morarend C, Qian F, Marshall SD, Southard KA, Grosland NM, Morgan TA, McManus M, Southard TE. Effect of screw diameter on orthodontic skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:224–229.
- [20] Nanda R. Temporary anchorage devices in orthodontics. St Louis: Mosby Elsevier, 2009: 431 p.
- [21] Poggio P, Incorvati C, Velo S, Carano A. Safe zones: a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod* 2006;76:191–197.
- [22] Sung JH, Kyung HM, Bae SM, Park HS, Kwon OW, McNamara JA. Microimplants in orthodontics. Daegu: Dentos, 2006: 178 p.
- [23] Tenenbaum H, Tenenbaum M. A clinical study of the width of the attached gingiva in the deciduous, transitional and permanent dentitions. *J Clin Periodontol* 1985;13:270–275.