

Estimation de l'âge par le rapport radiographique volume pulpaire/volume total de la dent : Etude expérimentale**Age estimation by pulp to tooth volume ratio: An experimental study***Nabiha Techini^{1*}, Naziha Techini², Imene Chaabani^{3*}, Touhami Ben Alaya^{3*}*

1. Médecin dentiste de libre pratique, Cité El Izdihar, Matmata Nouvelle 6044, Gabes, Tunisie. Email : nabiha.techini@yahoo.fr

2. Service de médecine dentaire, hôpital Matmata Nouvelle 6044, Gabes, Tunisie.

3. Service de radiologie, clinique hospitalo-universitaire de médecine dentaire de Monastir, Monastir 5000, Tunisie.

* Laboratoire de recherche réhabilitation fonctionnelle et esthétique des maxillaires LR12SP10

Résumé :

Introduction: L'apposition de dentine secondaire est responsable de la diminution du volume de la cavité pulpaire liée au vieillissement. L'objectif de cette étude consiste à évaluer une méthode d'estimation de l'âge dentaire chez l'humain basée sur le rapport entre le volume pulpaire et le volume total de la dent correspondante, calculé sur des reconstructions issues d'un examen Cônebeam. **Matériel et méthode:** 80 dents monoradiculées (14 incisives maxillaires, 26 incisives mandibulaires, 14 canines, et 26 prémolaires) extraites dont l'âge chronologique des individus est bien connu ont été explorées par Cônebeam. Ensuite, le rapport du volume pulpaire sur le volume total de chaque dent a été calculé avec le logiciel Mimics® 17.0. Une analyse de régression linéaire a été effectuée avec l'âge comme variable dépendante, et le rapport $\times 100$ en tant que facteur prédictif. **Résultats :** La comparaison entre les hommes et les femmes montre une différence statistiquement non significative ($p > 0,05$). La corrélation linéaire entre le rapport radiographique volume pulpaire sur volume total de la dent et l'âge réel est faible pour les incisives inférieures ($r=-0,49$), modérée pour les incisives supérieures ($r=-0,72$) et les canines ($r=-0,73$) et forte pour les prémolaires ($r=-0,90$). L'erreur absolue moyenne calculée entre l'âge réel et l'âge estimé varie entre 11,33 ans pour les canines et 5,88 ans pour les prémolaires. **Conclusion :** La variabilité de l'âge expliquée par le rapport des volumes est indépendante du sexe, et la plus forte corrélation a été obtenue avec les prémolaires avec un coefficient de corrélation (r) de $-0,90$. Cette étude préliminaire donne des résultats intéressants et cette méthode nécessite une validation sur un échantillon plus large.

Mots Clés : Détermination de l'âge dentaire, Odontologie légale, Tomographie volumique à faisceau conique, Dentine secondaire.

Abstract:

Introduction: the apposition of secondary dentin is responsible for the decrease of the volume of the pulp cavity bound to the ageing. The objective of this study was to estimate a method of estimation of the dental age at the human being based on the report enter the volume of the pulp and the total volume of the corresponding tooth, calculated on reconstructions stemming from an examination Cone Beam. **Material and method:** 80 teeth with single root (14 maxillary incisors, 26 mandibular incisors, 14 canine, and 26 premolars) extracted with the chronological age of the individuals well known were explored by Cone Beam. Then, the report of the volume of the pulp on the total volume of every tooth was calculated with the software Mimics® 17.0. An analysis of linear regression was made with the age as dependent variable, and the report $\times 100$ as predictive factor. **Results:** the comparison between men and women shows a statically not significant difference ($p > 0,05$). The linear correlation between the radiographic report pulp volume on total volume of the tooth and the real age is low for the lower incisors ($r = 0,49$), moderated for upper incisors ($r = 0,72$) and canine ($r = 0,73$) and strong for premolars ($r = 0,90$). The absolved error

averages calculated between the real age and the estimated age varied between 11,33 years for canine and 5,88 years for premolars. **Conclusion:** the variability of the age been understandable by the report of the volumes is independent from the sex, and the strongest correlation was obtained with premolars with a coefficient of correlation $r = 0,90$. This preliminary study gives interesting results, and this method must be tested on a wider sample.

Keywords: Age Determination by Teeth, Forensic Dentistry, Cone-Beam Computed Tomography, Secondary Dentin.

Introduction : L'estimation de l'âge des sujets vivants ou décédés est un élément important de l'odontologie médico-légale.^[1] Les méthodes d'estimation de l'âge dentaire sont d'une valeur particulière parce que les dents sont très résistantes aux agents chimiques, physiques et mécaniques, et sont parmi les restes humains les mieux conservés après la mort et représentent un excellent marqueur du vieillissement.^[1,2] Actuellement, il existe de nombreuses méthodes d'estimation de l'âge dentaire chez l'adulte basées sur les différents types de changements liés à l'âge subis par les structures dentaires, telles que l'attrition^[3], l'évolution de la translucidité de la dentine radulaire,^[4] les changements de couleurs,^[5] l'apposition du cément^[6] ou même la racémisation de l'acide aspartique.^[7] Cependant, la plupart de ces techniques sont très complexes et destructives.^[2,8,9] Une autre caractéristique intéressante utilisée dans l'estimation de l'âge dentaire est l'apposition de dentine secondaire. La corrélation entre l'âge chronologique et l'apposition de dentine secondaire a été largement démontrée par de nombreux auteurs.^[2,8-10]

Depuis 1982, la radiographie dentaire a été employée dans les méthodes d'estimation de l'âge. Les premières tentatives ont été basées sur des mesures directes et indirectes de l'apposition de dentine secondaire. En 1995 Kvaal et al.^[11] ont affiné cette technique en mesurant directement la taille pulpaire et la taille de la racine à partir de radiographies de plusieurs dents, et en calculant le rapport des deux.^[12] Vandervoort et al.^[12] ont été les premiers à utiliser l'imagerie tridimensionnelle pour l'estimation de l'âge, en montrant une relation de régression linéaire entre l'âge chronologique et le rapport radiographique volume pulpaire sur volume total de la dent (VP/VT). L'objectif de cette étude préliminaire était de montrer une corrélation entre l'âge chronologique et le rapport radiographique (VP/VT) chez une population Tunisienne, à partir d'un examen Cone-Beam (CB) sur des dents extraites, et à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D.

Matériels et Méthodes :

- **Sélection du Matériel :** L'échantillon comprend 80 dents monoradiculées (25 dents maxillaires et 55 dents mandibulaires) dont 41 issues de femmes et 39 d'hommes et appartenant à 75 patients consultant à l'hôpital de Matmata Nouvelle (Gabes, Tunisie), avec un âge compris entre 16 et 87 ans. Ci-dessous (**Fig. 1**) est représentée la répartition des âges (par tranches de 10 ans) en fonction du nombre de dents. La répartition des dents selon le type et le sexe est reportée dans le **tableau I**.

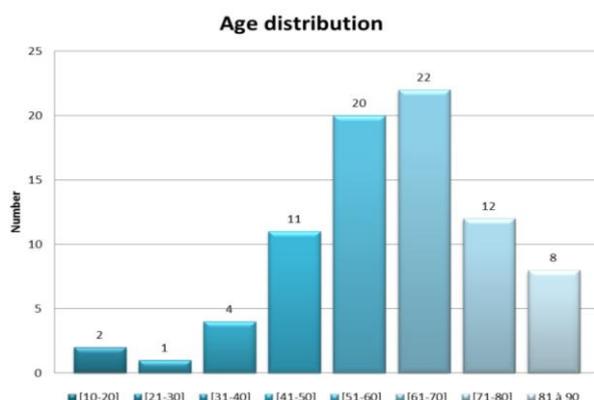


Fig. 1 : Histogramme représentant la répartition des âges des patients en fonction du nombre de dents.

		Genre		Total	
		M	F		
Type De dents	Inc. cent sup	2	7	9	14
	Inc lat. sup	3	2	5	
	Canines sup	9	2	11	11
	Inc. Cent. inf	6	8	14	26
	Inc. lat inf	5	7	12	
	Canines inf	1	2	3	3
	1 ^{ère} PM inf	7	9	16	26
	2 ^{ème} PM inf	6	4	10	
Total		39	41	80	

Tableau I : La répartition des dents selon le type et le sexe

Toutes les dents étaient indemnes de pathologies (carie, traumatisme...), sans traitement (obturation, traitement endodontique...) et avec un apex fermé. Celles qui présentaient une forte abrasion ont été exclues. Parfois, plusieurs dents de la même personne ont été utilisées. Pour chaque dent nous avons noté l'âge réel connu et le sexe du patient. Pour pouvoir réaliser les CB nous avons mis en place deux modèles expérimentaux : Chaque modèle est composé de deux arcades fixées l'une sur l'autre. Chaque arcade comporte entre 18 et 22 dents fixées par la cire sur une plaque en résine acrylique en forme de demi-cercle (**Fig.2**).

- **Exploration radiologique** : L'acquisition CB a été réalisée à l'aide d'appareil Gendex GxDP-700 avec des paramètres d'exposition de 90 KV et 6,3 mA et un temps de 4,5s (**Fig.3**). Toutes les reconstructions ont une épaisseur constante de 350 μm . Les images issues de cette acquisition volumique ont été enregistrées en format DICOM.



Fig. 2 : Modèle expérimental composé de deux arcades fixées l'une sur l'autre.



Fig.3 : L'appareil Cone-Beam comportant le modèle expérimental.

- **Segmentation et Mesures** : Les images DICOM ont été exportées vers un logiciel de modélisation 3D MIMICS® 17.0 (research edition, Materialise NV, Leuven, Belgium).

La segmentation des dents a été réalisée automatiquement en utilisant les paramètres par défaut du logiciel et grâce à la différence de densité, mesurée en unités Hounsfield (HU) entre les différentes structures dentaires. Cette segmentation est vérifiée et corrigée manuellement à chaque fois que c'est nécessaire. Enfin, le logiciel permet de reconstruire des modèles en 3D et calcule automatiquement le volume total et le volume pulpaire de chaque dent (en mm^3) (**Fig. 4 a - e**). Tout ce processus prend au maximum 15mn par dent. Toutes les mesures ont été effectuées par le même observateur.

- **Différentes étapes de segmentation d'une canine supérieure par le logiciel MIMICS® 17.0** : Pour segmenter une dent, un masque est créé et un seuil optimal de densité est choisi sur les reconstructions coronales obliques montrant les tissus minéralisés de la dent (email, dentine et cément) (**Fig.4a**). Ensuite, coupe par coupe, des corrections manuelles sont effectuées, si nécessaire, pour vérifier que la pulpe est correctement délimitée. Un calcul 3D du masque permet d'assembler toutes les coupes adaptées et génère un modèle 3D sur lequel le programme peut calculer le volume minéralisé (**Fig. 4b**). Au niveau du côté intérieur de l'image calculée, un espace libre est disponible correspondant à la chambre pulpaire. Un nouveau masque est alors créé remplissant l'espace interne de la dent (**Fig. 4c**). Un calcul 3D du masque de la pulpe permet de mesurer le volume pulpaire (**Fig. 4d**). L'union entre le masque du tissu minéralisé et le masque de la pulpe permet d'obtenir un troisième masque correspondant à la totalité de la dent. Un modèle 3D est enfin calculé ce qui permet d'évaluer le volume total de la dent (**Fig. 4e**).

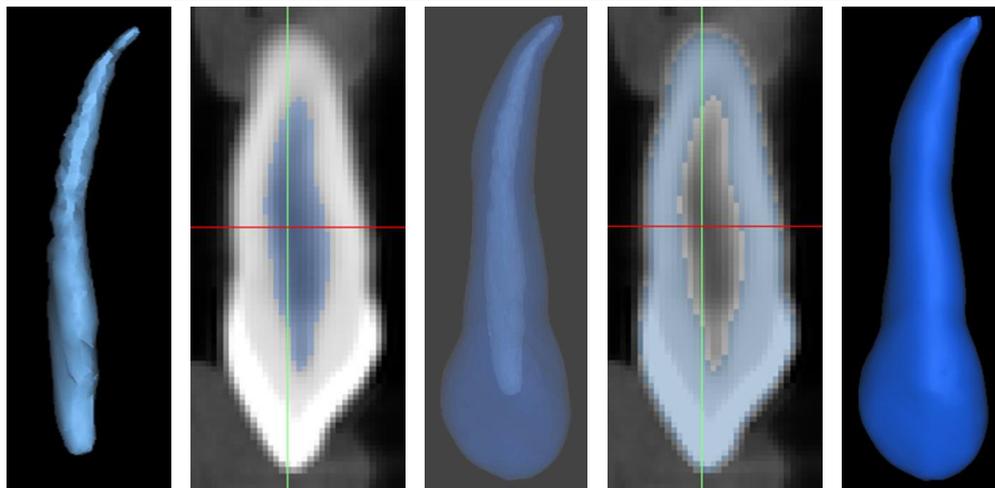


Fig.4a

Fig.4b

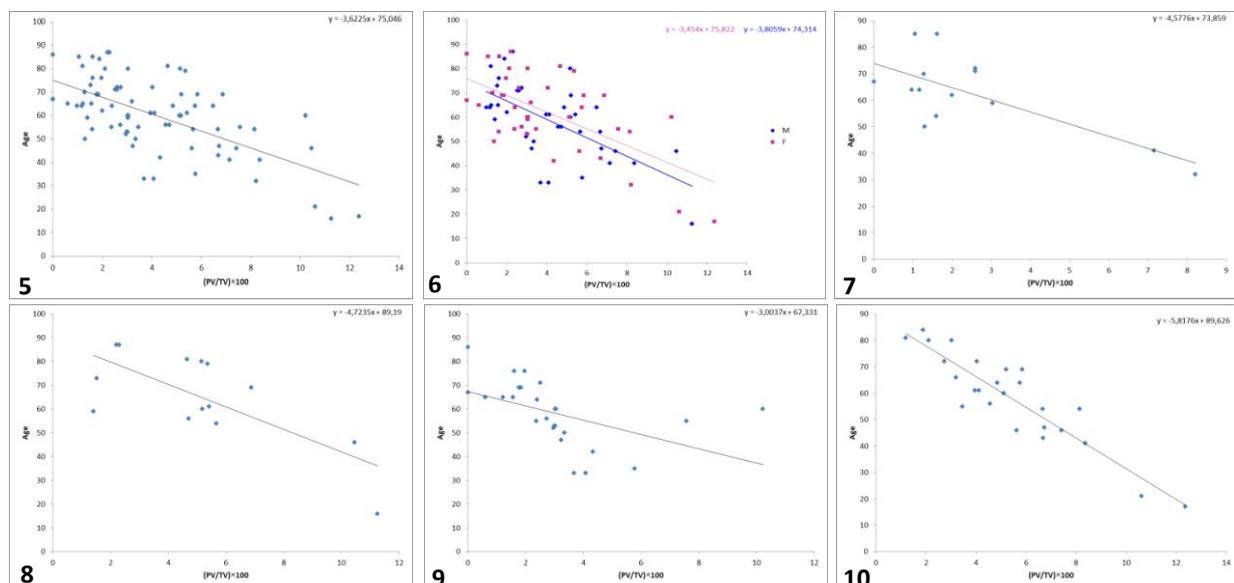
Fig.4c

Fig.4d

Fig.4e

Analyse statistique : Toutes les mesures calculées précédemment (volume pulpaire et volume total), ainsi que l'âge chronologique de chaque patient, le sexe et le type de dents ont été collectés dans le logiciel Excel[®] (Microsoft Corporation, 2010) pour les analyses des données statistiques. Le rapport radiographique (VP/VT) a été ensuite calculé pour chaque dent. Une courbe a été réalisée pour toutes les dents confondues, ainsi que pour chaque sexe, et pour chaque type de dents. Le rapport $(VP/VT) \times 100$ est placé en abscisse (x) et l'âge réel en ordonnées (y). On obtient pour chaque graphique un nuage de points. Puis, une courbe de type régression linéaire d'équation $y = a x + b$ sera obtenue automatiquement. Pour juger de la relation entre le rapport des volumes et l'âge, le logiciel Excel[®] calcule le coefficient de corrélation (r) qui mesure le caractère linéaire du nuage de points. Pour juger la qualité de la prédiction de la régression linéaire, le logiciel Excel[®] permet de calculer le coefficient de détermination R^2 qui évalue la quantité d'information apportée par la droite de régression. Ensuite, pour évaluer la fiabilité et la précision de l'estimation de l'âge par ces formules, l'erreur absolue moyenne (EAM) entre l'âge réel et l'âge estimé, est donc calculée. Le seuil de signification (valeur p) a été fixé à 5%.

Résultats : Les rapports des volumes calculés variaient entre 0 et 12,37 avec une valeur moyenne de 4,06. Une courbe et une équation ont été obtenues pour toutes les dents confondues (**Fig.5**), ainsi que pour chaque sexe (**Fig.6**), et pour chaque type de dents (Incisives supérieures (**Fig.7**), Incisives inférieures (**Fig.8**), Canines (**Fig.9**) et Prémolaires inférieures (**Fig.10**)).



Les coefficients de corrélation (r) et de détermination (R^2), ainsi que l'erreur absolue moyenne (EAM) pour toutes les dents de l'échantillon, et pour chaque type et sexe, sont reportés dans le **tableau II**.

La comparaison entre les hommes et les femmes montre une différence statistiquement non significative ($p > 0,05$) (**Fig.6**). La corrélation linéaire entre le rapport radiographique (VP/VT) et l'âge réel est faible pour les incisives inférieures, modérée pour les incisives supérieures et les canines et forte pour les prémolaires. Les modèles linéaires permettent d'expliquer 52%, 24%, 53%, et 83% de la variabilité totale de l'âge réel, respectivement, pour les incisives supérieures, les incisives inférieures, les canines, et les prémolaires. L'écart type (EAM) calculé entre l'âge réel et l'âge estimé variait entre 11,33 ans pour les canines et 5,88 ans pour les prémolaires.

		r	R^2	EAM (ans)
Inc. sup		-0,72	0,52	7,92
Inc. inf		-0,49	0,24	8,99
Canines		-0,73	0,53	11,33
PM		-0,9	0,83	5,88
Total		-0,64	0,40	10,03
Total	F	-0,64	0,41	10,74
	M	-0,63	0,40	9,20

Tableau.II : Les coefficients de corrélation (r) et de détermination (R^2) et l'erreur absolue moyenne (EAM) pour toutes les dents, ainsi que selon le type et le sexe.

Discussion : Nous avons décidé de fonder notre travail sur un paramètre qui est bien reconnu et largement utilisé par de nombreuses méthodes: L'apposition de la dentine secondaire.^[2,9,13] Contrairement à d'autres paramètres qui ne donnent des résultats précis que pour des tranches d'âge très limitées,^[14,15] ce phénomène physiologique est observé aussi longtemps que la dent est encore vitale.^[8]

L'apposition de dentine secondaire a été au début observée et décrite en deux dimensions, sur les radiographies rétroalvéolaires et panoramiques.^[16,19] Les méthodes les plus récentes ont permis d'obtenir une vue d'ensemble plus précise de ce phénomène, en incorporant la troisième dimension dans les mesures et les analyses, à l'aide de micro Cône Beam et Cône Beam conventionnel.^[9,10,20,21]

Dans la présente étude, le rapport entre le volume pulpaire et le volume total de la dent (VP/VT) a été choisi comme indicateur possible de l'âge, et ce en suivant des recherches antérieures dans lesquelles ce rapport a été évalué comme une nouvelle méthode d'estimation de l'âge en utilisant les dents monoradiculées.^[2,8,20-22]

La collection de dents de personnes à différents âges était difficile, car elles devaient être exemptes de pathologies. En raison de l'hygiène bucco-dentaire, les jeunes conservent leurs dents le plus longtemps possible, ce qui a donné lieu à une répartition non proportionnelle des tranches d'âge.

Dans notre étude, la technologie de Cône Beam a été utilisée pour calculer le rapport (VP/VT) car l'étude du rapport des volumes est plus fiable que le calcul du rapport des surfaces.^[23]

De plus, le CB est une technique précise pour l'étude de l'anatomie du système endodontique^[24] car il fournit des images de bonne qualité, renfermant des informations dans les trois dimensions de l'espace, avec de faibles doses de rayonnement^[25] et de manière non destructive. Quelques études ont utilisé des radiographies issues de la micro-tomographie

numérique (μ -CT) pour l'estimation de l'âge.^[12,20,21] Bien que la résolution de l'image soit supérieure à celle du CB conventionnel, ces appareils ne peuvent être utilisés que sur les petites structures, telles que des dents extraites, en raison de la limitation du champ radiographique. Cela limite leur application à des personnes décédées.

Pour calculer les volumes nécessaires, nous avons choisi le logiciel Mimics[®], en suivant les études de Tardivo et al.^[8,9]. La correction manuelle du processus de séparation et de segmentation automatique était parfois impérative au niveau de la limite qui sépare la pulpe de la dentine. Par conséquent, la distinction informatisée des différentes parties de la dent, basée sur le seuil de densité déjà établi, devient moins fiable. De plus, l'utilisation d'un seuil de densité, pourrait être un inconvénient, parce que la reproductibilité peut être mise en doute. Toute la procédure proposée, y compris la reconstruction de l'image 3D et tous les calculs, a pris moins de 15 minutes par dent, ce qui est beaucoup plus rapide que le temps requis pour d'autres protocoles précédemment décrits dans la littérature.^[1,2,12] Dans la présente étude, une régression linéaire de l'âge biologique en fonction du rapport radiographique (VP/VT) a été démontrée. Sur l'ensemble des graphiques réalisés, celui qui représente toutes les dents confondues ($n = 80$) donne un coefficient de détermination R^2 de 0,40 et une erreur absolue moyenne de $\pm 10,03$ ans. Il semble que l'équation obtenue par ce graphique ne présente pas de grand intérêt, en raison de la corrélation linéaire modérée ($r = -0,64$) entre le rapport (VP/VT) et l'âge réel, et l'écart type (EAM) relativement élevé. Mais, ces résultats restent meilleurs que ceux publiés par Willems et al.^[2] ($R^2 = 0,34$), Yang et al.^[11] ($R^2 = 0,29$), et Vandevort et al.^[12] ($R^2 = 0,31$).

L'analyse des graphiques « sexe féminin » et « sexe masculin » montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les deux sexes. Cela était prévu, puisque plusieurs études précédentes ont trouvé le même résultat^[2,17,22]. Nous pouvons donc conclure qu'il n'est pas nécessaire de connaître le sexe de la victime pour appliquer cette méthode.

Le graphique des incisives supérieures montre une corrélation linéaire modérée entre le rapport (VP/VT) et l'âge réel ($R^2 = 0,52$, $r = -0,72$), et un écart type (EAM) de $\pm 7,92$ ans entre l'âge réel et l'âge estimé. Alors que celui des incisives inférieures donne des résultats médiocres avec une faible corrélation entre le rapport (VP/VT) et l'âge réel ($R^2 = 0,24$, $r = -0,49$) et un écart type relativement élevé ($\pm 8,99$ ans). Par conséquent, il apparaît que les incisives maxillaires sont de meilleurs indicateurs de l'âge que les incisives mandibulaires. D'un autre côté, une étude basée sur la micro tomographie numérique réalisée par Someda et al.^[21] a montré une corrélation modérée entre l'âge et le rapport (VP/VT) des incisives centrales mandibulaires ($R^2 = 0,65$ pour le sexe masculin, et $R^2 = 0,77$ pour le sexe féminin). Ces valeurs de R^2 sont plus élevées que nos résultats. Les canines (maxillaires et mandibulaires) donnent une corrélation modérée ($R^2 = 0,53$, $r = -0,73$) et un écart type très important de $\pm 11,33$. Seul un nombre réduit de canines ($n = 14$) était disponible pour la présente étude, ce qui pourrait expliquer la discordance de nos résultats avec la réalité pour ce groupe de dent. Pour les améliorer, un plus grand échantillon de canines doit être utilisé. En fait, le coefficient de détermination obtenu à partir des données de notre échantillon tunisien est beaucoup plus élevé que celui montré par Willems et al.^[2] ($R^2 = 0,07$). Nous avons également trouvé une plus forte corrélation par rapport à celle trouvée par Luder et al.^[10] ($r = -0,63$), et par Tardivo et al.^[9] ($r = -0,59$). D'autre part, des études antérieures utilisant le rapport des surfaces (SP/ST) pour l'estimation de l'âge ont montré une très forte corrélation pour les canines, telle que l'étude de Cameriere et al.^[18] ($R^2 = 0,86$ pour les canines maxillaires, et $R^2 = 0,93$ pour les canines mandibulaires).

Les coefficients de détermination et de corrélation les plus forts sont obtenus pour les prémolaires ($R^2 = 0,83$, $r = -0,90$), avec une erreur absolue moyenne de $\pm 5,88$ ans. Nous avons obtenu une très forte corrélation pour ce type de dents, et un écart type entre l'âge estimé et l'âge réel considéré comme « acceptable ». Ainsi, dans cette étude, 83% de la

variabilité de l'âge peut être expliquée par la variation du rapport radiographique (VP/VT). Les résultats obtenus par ce graphique semblent être particulièrement intéressants. En effet, le coefficient de détermination issu des données de notre échantillon ($n = 26$) est plus élevé que ceux trouvés par Suzuki et al. [22] ($R^2 = 0,57$), et par Aboshi et al. [20] ($R^2 = 0,70$ pour la 2^{ème} PM, et $R^2 = 0,63$ pour la 1^{ère} PM). De bons résultats ($0,69 < R^2 < 0,75$) ont été aussi trouvés par Cameriere et al. [17] en calculant le rapport des surfaces (SP/ST) sur les radiographies panoramiques. Nous pouvons donc conclure, à l'issue de notre étude, que les formules de régression linéaire doivent être calculées séparément pour chaque type de dents. Si un choix de type de dents est permis, les prémolaires inférieures doivent être sélectionnées, puisqu'elles semblent être les mieux adaptées à la méthode utilisée. Viennent ensuite les incisives maxillaires. Dans des études ultérieures, il serait utile d'effectuer un contrôle de la reproductibilité à l'aide d'un deuxième examinateur.

Cette étude représente un travail préliminaire intéressant, qui mérite d'être testée avec un échantillon de taille plus grande (au moins 50 dents de chaque type) et une répartition plus homogène (ou égale) des tranches d'âge, dans le but d'affiner et optimiser la méthode proposée. De plus, d'autres progrès dans le matériel et le logiciel utilisés pourraient aider à optimiser l'exactitude et la précision de la technique.

Conclusion : Les résultats de cette étude expérimentale montrent que des estimations d'âge acceptables sont possibles pour la population tunisienne, en utilisant le calcul du rapport radiographique (VP/VT) à partir d'un examen CB de dents monoradiculées.

En effet, la variabilité de l'âge chronologique expliquée par le rapport (VP/VT) est indépendante du sexe, et la corrélation est la plus forte pour les prémolaires ($r = -0,90$), suivies par les incisives supérieures et les canines.

Des recherches ultérieures plus poussées pourraient éventuellement améliorer la technique présentée et fournir une méthode d'estimation de l'âge fiable et objective.

References:

1. Yang F, Jacobs R, Willems, G. Dental age estimation through volume matching of teeth imaged by cone-beam CT. *Forensic Sci Int* 2006;159:S78-83.
2. Star H, Thevissen P, Jacobs R, Fieuws S, Solheim T, Willems G. Human dental age estimation by calculation of pulp-tooth volume ratios yielded on clinically acquired cone beam computed tomography images of monoradicular teeth. *J Forensic Sci* 2011;56,1:S77-82.
3. Ball J. A critique of age estimation using attrition as the sole indicator. *J Forensic Odontostomatol* 2002;20,2:38-42.
4. Bang, G, Ramm E. Determination of age in humans from root dentin transparency. *Acta Odontol. Scand* 1970;28,1:3-35.
5. Martin De Las Heras S, Valenzuela A, Bellini R, Salas C, Rubiño M, Garcia JA. Objective measurement of dental color for age estimation by spectroradiometry. *Forensic Sci Int* 2003;132,1:57-62.
6. Solheim T. Dental cementum apposition as an indicator of age. *Eur J Oral Sci* 1990;98,6:510-19.
7. Alkass K, Buchholz BA, Ohtani S, Yamamoto T, Druid H, Spalding KL. Age estimation in forensic sciences application of combined aspartic acid racemization and radiocarbon analysis. *Mol. Cell. Proteomics* 2010;9,5:1022-30. Available from: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2871409/
8. Tardivo D, Sastre J, Catherine JH, Leonetti G, Adalian P, Foti B. Age determination of adult individuals by three-dimensional modelling of canines. *Int J Legal Med* 2014;128,1:161-9.

9. Tardivo D, Sastre J, Ruquet M, Thollon L, Adalian P, Leonetti G. et al. Three-dimensional Modeling of the Various Volumes of Canines to Determine Age and Sex: A Preliminary Study. *J Forensic Sci* 2011;56,3:766-70.
10. Jagannathan N, Neelakantan P, Thiruvengadam C, Ramani P, Premkumar P, Natesan A. et al. Age estimation in an Indian population using pulp/tooth volume ratio of mandibular canines obtained from cone beam computed tomography. *J Forensic Odontostomatol* 2011;29,1:1-6. Available from: http://iofos.eu/Journals/JFOS%20Jun11/1_AGE%20ESTIMATION%20IN%20AN%20INDIAN%20POPULATION.pdf
11. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int* 1995;74,3:175-85.
12. Vandevoort FM, Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Bielen DJ, Lambrechts P, Wevers M. et al. Age calculation using X-ray microfocus computed tomographical scanning of teeth: a pilot study. *J Forensic Sci* 2004;49,4:787-90.
13. Meinel A, Tangl S, Pernicka E, Fenes C, Watzek G. On the applicability of secondary dentin formation to radiological age estimation in young adults. *J Forensic Sci* 2007;52,2:438-41.
14. Khorate MM, Dinkar AD, AHMED J. Accuracy of age estimation methods from orthopantomograph in forensic odontology: a comparative study. *Forensic Sci Int* 2014;234:184.e1-8.
15. NAIK, Sushil B., PATIL, Swapnil N., KAMBLE, Seema D, et al. Reliability of Third Molar Development for Age Estimation by Radiographic Examination (Demirjian's Method). *J Clin Diagn Res* 2014;8,5:ZC25-8. Available from: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4080060/
16. Singaraju S, Sharada P. Age estimation using pulp/tooth area ratio: A digital image analysis. *J Forensic Dent Sci* 2009;1,1:37-41.
17. Cameriere R, De Luca S, Alemán I, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in lower premolars by orthopantomography. *Forensic Sci Int* 2012;214,1:105-12.
18. Shamim T, Ipe Varughese V, Shameena PM, Sudha S. Forensic odontology-a new perspective. *Medico-Legal Update* 2006;6,1:1-4.
19. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary study. *J Forensic Sci* 2004;49,2:317-9.
20. Aboshi H, Takahashi T, Komuro T. Age estimation using microfocus X-ray computed tomography of lower premolars. *Forensic Sci Int* 2010;200,1:35-40.
21. Someda H, Saka H, Matsunaga S, Ide Y, Nakahara K, Hirata S, et al. Age estimation based on three-dimensional measurement of mandibular central incisors in Japanese. *Forensic Sci Int* 2009;185,1:110-4.
22. Sakuma A, Saitoh H, Suzuki Y, Makino Y, Inokuchi G, Hayakawa M, et al. Age estimation based on pulp cavity to tooth volume ratio using postmortem computed tomography images. *J Forensic Sci* 2013;58,6:1531-5.
23. Metska ME, Liem VML, Parsa A, Koolstra JH, Wesselink PR, Ozok AR. Cone-beam computed tomographic scans in comparison with periapical radiographs for root canal length measurement: an in situ study. *J Endod* 2014;40,8:1206-9.
24. Michetti J, Maret D, Mallet JP, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 2010;36,7:1187-90.
25. Loubele M, Jacobs R, Maes F, Denis K, White S, Coudyzer W, et al. Image quality vs radiation dose of four cone beam computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:309-18