



Faculté de médecine

Année 2018/2019

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Léo RIBIER

Né le 05 Octobre 1989 à Antony (92)

TITRE

Etude de l'applicabilité de la méthode de Cameriere, basée sur le calcul de l'index de maturité de la troisième molaire inférieure gauche, pour distinguer individus majeurs et mineurs sur un échantillon Français.

Présentée et soutenue publiquement le 13 Mars 2019 devant un jury composé de :

Président du Jury :

Professeur Jean-Philippe COTTIER, Radiologie et Imagerie Médicale, Faculté de Médecine – Tours

Membres du Jury :

Professeur Pauline SAINT-MARTIN, Médecine Légale et droit de la santé, Faculté de Médecine – Tours

Directeurs de thèse :

Professeur Laurent BRUNEREAU, Radiologie et Imagerie Médicale, Faculté de Médecine - Tours

Docteur Camille REROLLE, Médecine Légale et droit de la santé, Faculté de Médecine - Tours

Sujet : Etude de l'applicabilité de la méthode de Cameriere, basée sur le calcul de l'index de maturité de la troisième molaire inférieure gauche, pour distinguer individus majeurs et mineurs sur un échantillon Français.

Introduction : L'estimation de l'âge chez l'individu vivant est un sujet de recherche important en médecine légale clinique, notamment du fait de l'intensification des flux migratoires. L'estimation de l'âge dentaire est un des éléments d'intérêt pour approcher l'âge biologique d'un individu. L'objectif principal était d'évaluer la performance de la méthode de Cameriere, et de sa valeur seuil de l'Index de Maturité de la troisième Molaire (individu considéré comme mineur si I3M < 0.08) sur un échantillon Français.

Matériel et Méthodes : Nous avons constitué un échantillon de 431 orthopantomogrammes réalisés entre Janvier 2014 et Août 2017, sur des patients âgés de 14 à 22 ans. Nous avons ensuite calculé, sur des images anonymisées, à l'aide du logiciel de PACS Carestream®, la valeur de l'I3M pour chaque individu. Les variabilités intra et inter-observateur ont été estimées sur des échantillons de 40 sujets. La probabilité post-test a été calculée à l'aide du théorème de Bayes. Nous avons choisi de comparer nos résultats aux données existantes à l'aide de courbes SROC.

Résultats : Les analyses statistiques ont montré la très bonne répétabilité et reproductibilité de la méthode pour les variabilités intra et inter-observateur. L'âge biologique des individus diminuait progressivement avec l'augmentation de l'I3M chez les deux sexes. La sensibilité et la spécificité du test étaient respectivement de 74,51 % et 88,23 % chez les femmes et de 92,19 % et 88,35 % chez les hommes. La proportion d'individus correctement classés et la probabilité post-test p étaient respectivement de 80,75 % et 0,879 chez les femmes et de 90,57 % et 0,899 chez les hommes.

Discussion : Notre étude a montré que la méthode de Cameriere est un outil intéressant pour distinguer les individus majeurs et mineurs dans la population française, lorsque le seuil de 0,08 est utilisé pour l'I3M. Son utilisation ne s'envisage cependant qu'en association avec les autres méthodes recommandées (interrogatoire, examen clinique, radiographie de la main et du poignet gauches, et éventuellement scanner de l'extrémité interne des clavicules).

Mots clés : Médecine légale - estimation de l'âge – majorité – minorité – âge dentaire – méthode de Cameriere – I3M – Index de maturité de la troisième molaire.

Subject: Cameriere's third molar maturity index in assessing age of majority: study of a French sample.

Abstract

Forensic age estimation is a challenging field in forensic sciences because of the increase of migratory flows. Medicolegal age assessment is a key point because it has many implications for authorities. Dental age estimation is an essential part of the global age assessment. The aim of this study was to test the accuracy of Cameriere's cut-off value (below 0.08) of the third molar maturity index (I3M) in assessing legal adult age of 18 years in French population. The sample was constituted of 431 orthopantomograms performed between January 2014 and August 2017 on patients aged between 14 and 22 years. Intraclass correlation coefficient and Cohen's Kappa test showed the high reproducibility and repeatability of the method. Age distribution gradually decreases as I3M increases in both sexes. For females, the sensitivity and specificity of the test were 74.51 % and 88.23 %, respectively. The sensitivity and specificity for males were 92.19 % and 88.35 %, respectively. The proportion of correctly classified individuals were 80.75 % for female, 90.57 % for male. Estimated post-test probability were 0.879 for female and 0.899 for male. To conclude, the specific cut-off value of $I3M < 0.08$ may be a useful additional tool in discriminating adults and minors in French population.

Key Words: Forensic medicine - age estimation - majority - minority - dental age - Cameriere's method - I3M - third molar maturity index

01/09/2018

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN

Pr Patrice DIOT

VICE-DOYEN

Pr Henri MARRET

ASSESEURS

Pr Denis ANGOULVANT, *Pédagogie*

Pr Mathias BUCHLER, *Relations internationales*

Pr Hubert LARDY, *Moyens – relations avec l'Université*

Pr Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ, *Médecine générale*

Pr François MAILLOT, *Formation Médicale Continue*

Pr Patrick VOUREC'H, *Recherche*

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE

Mme Fanny BOBLETER

DOYENS HONORAIRES

Pr Emile ARON (†) – 1962-1966

Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962

Pr Georges DESBUQUOIS (†) - 1966-1972

Pr André GOUAZE - 1972-1994

Pr Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004

Pr Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES

Pr Daniel ALISON
Pr Philippe ARBEILLE
Pr Catherine BARTHELEMY
Pr Christian BONNARD
Pr Philippe BOUGNOUX
Pr Alain CHANTEPIE
Pr Pierre COSNAY
Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr Loïc DE LA LANDE DE CALAN
Pr Alain GOUDEAU
Pr Noël HUTEN
Pr Olivier LE FLOCH
Pr Yvon LEBRANCHU
Pr Elisabeth LECA
Pr Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ
Pr Gérard LORETTE
Pr Roland QUENTIN
Pr Alain ROBIER
Pr Elie SALIBA

PROFESSEURS HONORAIRES

P. ANTHONIOZ – A. AUDURIER – A. AUTRET – P. BAGROS – P. BARDOS – J.L. BAULIEU
– C. BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – P. BONNET – M. BROCHIER – P. BURDIN –
L. CASTELLANI – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET - J.P.
FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES – A. GOUAZE –
J.L. GUILMOT – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – Y. LANSON – J. LAUGIER – P.
LECOMTE – E. LEMARIE – G. LEROY – Y. LHUINTE – M. MARCHAND – C. MAURAGE –
C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – L.
POURCELOT – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – J.C. ROLLAND – D. ROYERE -
A. SAINDELLE – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – D. SIRINELLI – B. TOUMIEUX – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis	Cardiologie
AUPART Michel	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BALLON Nicolas	Psychiatrie ; addictologie
BARILLOT Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie clinique
BERNARD Anne	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
BODY Gilles	Gynécologie et obstétrique
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BRILHAULT Jean	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck	Urologie
BUCHLER Matthias	Néphrologie
CALAIS Gilles	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent	Psychiatrie d'adultes
CHANDENIER Jacques	Parasitologie, mycologie
COLOMBAT Philippe	Hématologie, transfusion
CORCIA Philippe	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DE TOFFOL Bertrand	Neurologie
DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique
DESOUBEAUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe	Anatomie
DIOT Patrice	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
DUMONT Pascal	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
EL HAGE Wissam	Psychiatrie adultes
EHRMANN Stephan	Réanimation
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FAVARD Luc	Chirurgie orthopédique et traumatologique
FOUGERE Bertrand	Gériatrie
FOUQUET Bernard	Médecine physique et de réadaptation
FRANCOIS Patrick	Neurochirurgie

FROMONT-HANKARD Gaëlle Anatomie & cytologie pathologiques
 GAUDY-GRAFFIN Catherine Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
 GOGA Dominique Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
 GOUPILLE Philippe Rhumatologie
 GRUEL Yves Hématologie, transfusion
 GUERIF Fabrice Biologie et médecine du développement et de la reproduction
 GUYETANT Serge Anatomie et cytologie pathologiques
 GYAN Emmanuel Hématologie, transfusion
 HAILLOT Olivier Urologie
 HALIMI Jean-Michel Thérapeutique
 HANKARD Régis..... Pédiatrie
 HERAULT Olivier Hématologie, transfusion
 HERBRETEAU Denis Radiologie et imagerie médicale
 HOURIOUX Christophe Biologie cellulaire
 LABARTHE François Pédiatrie
 LAFFON Marc Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
 LARDY Hubert Chirurgie infantile
 LARIBI Saïd Médecine d'urgence
 LARTIGUE Marie-Frédérique Bactériologie-virologie
 LAURE Boris Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
 LECOMTE Thierry Gastroentérologie, hépatologie
 LESCANNE Emmanuel Oto-rhino-laryngologie
 LINASSIER Claude Cancérologie, radiothérapie
 MACHET Laurent Dermato-vénéréologie
 MAILLOT François Médecine interne
 MARCHAND-ADAM Sylvain Pneumologie
 MARRET Henri Gynécologie-obstétrique
 MARUANI Annabel Dermatologie-vénéréologie
 MEREGHETTI Laurent Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
 MORINIERE Sylvain Oto-rhino-laryngologie
 MOUSSATA Driffa Gastro-entérologie
 MULLEMAN Denis Rhumatologie
 ODENT Thierry Chirurgie infantile
 OUAISSI Mehdi Chirurgie digestive
 OULDAMER Lobna Gynécologie-obstétrique
 PAGES Jean-Christophe Biochimie et biologie moléculaire
 PAINAUD Gilles Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
 PATAT Frédéric Biophysique et médecine nucléaire
 PERROTIN Dominique Réanimation médicale, médecine d'urgence
 PERROTIN Franck Gynécologie-obstétrique
 PISELLA Pierre-Jean Ophtalmologie

PLANTIER Laurent	Physiologie
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe	Biologie cellulaire
ROSSET Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
RUSCH Emmanuel	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab	Dermatologie-vénérologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick	Génétique
VAILLANT Loïc	Dermato-vénérologie
VELUT Stéphane	Anatomie
VOURC'H Patrick	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

LEBEAU Jean-Pierre

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien	Soins palliatifs
POTIER Alain	Médecine Générale
ROBERT Jean	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

BAKHOS David	Physiologie
BARBIER Louise.....	Chirurgie digestive
BERHOUEZ Julien	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BERTRAND Philippe	Biostat., informatique médical et technologies de communication
BRUNAUT Paul	Psychiatrie d'adultes, addictologie
CAILLE Agnès	Biostat., informatique médical et technologies de communication
CLEMENTY Nicolas	Cardiologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOUR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
FAVRAIS Géraldine	Pédiatrie
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie	Anatomie et cytologie pathologiques
GATAULT Philippe	Néphrologie
GOUILLEUX Valérie.....	Immunologie

GUILLON Antoine Réanimation
 GUILLON-GRAMMATICO Leslie Epidémiologie, économie de la santé et prévention
 HOARAU Cyrille Immunologie
 IVANES Fabrice Physiologie
 LE GUELLEC Chantal Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
 MACHET Marie-Christine Anatomie et cytologie pathologiques
 MOREL Baptiste Radiologie pédiatrique
 PIVER Éric Biochimie et biologie moléculaire
 REROLLE Camille Médecine légale
 ROUMY Jérôme Biophysique et médecine nucléaire
 SAUTENET Bénédicte Néphrologie
 TERNANT David Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
 ZEMMOURA Ilyess Neurochirurgie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia Neurosciences
 BOREL Stéphanie Orthophonie
 DIBAO-DINA Clarisse Médecine Générale
 MONJAUZE Cécile Sciences du langage - orthophonie
 PATIENT Romuald..... Biologie cellulaire
 RENOUX-JACQUET Cécile Médecine Générale
MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES
 RUIZ Christophe Médecine Générale
 SAMKO Boris Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRA

BOUAKAZ Ayache Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
 CHALON Sylvie Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
 COURTY Yves Chargé de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
 DE ROCQUIGNY Hugues Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1259
 ESCOFFRE Jean-Michel Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
 GILOT Philippe Chargé de Recherche INRA – UMR INRA 1282
 GOUILLEUX Fabrice Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7001
 GOMOT Marie Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253
 HEUZE-VOURCH Nathalie Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
 KORKMAZ Brice Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
 LAUMONNIER Frédéric Chargé de Recherche INSERM - UMR INSERM 1253
 LE PAPE Alain Directeur de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
 MAZURIER Frédéric Directeur de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001

MEUNIER Jean-Christophe Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1259
PAGET Christophe Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
RAOUL William Chargé de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001
SI TAHAR Mustapha Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
WARDAK Claire Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'Ecole d'Orthophonie

DELORE Claire Orthophoniste
GOUIN Jean-Marie Praticien Hospitalier
PERRIER Danièle Orthophoniste

Pour l'Ecole d'Orthoptie

LALA Emmanuelle Praticien Hospitalier
MAJZOUB Samuel..... Praticien Hospitalier

Pour l'Ethique Médicale

BIRMELE Béatrice Praticien Hospitalier

SERMENT D'HIPPOCRATE

*En présence des Maîtres de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*

*Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas
à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert d'opprobre
et méprisé de mes confrères
si j'y manque.*

Remerciements

Aux Membres du Jury

A Monsieur Le Professeur Jean-Philippe COTTIER

Vous me faites un grand honneur en acceptant de présider le jury de ma thèse.
Merci pour votre intérêt et votre soutien pour la réalisation de mon projet professionnel, où se mêlent la radiologie et la médecine légale.
Soyez assuré de mes plus vifs remerciements et de ma sincère reconnaissance.

A Madame le Professeur Pauline SAINT-MARTIN

Je vous remercie de m'avoir accueilli dans votre service, pour vos conseils, et pour m'avoir permis de découvrir avec plaisir les différents aspects de la médecine légale, dont leur application possible en radiologie du vivant comme en thanato-radiologie.
Merci pour la confiance que vous avez bien voulu me témoigner.
Je vous prie de trouver dans cette thèse l'expression de ma sincère reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Laurent BRUNEREAU

Vous m'avez fait l'honneur de diriger cette thèse.
Je vous remercie pour vos conseils et pour votre investissement dans ce travail.
Je vous suis également reconnaissant pour l'intérêt que vous avez su porter à mon projet professionnel.
Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère gratitude.

A Monsieur le Docteur Camille REROLLE

Merci d'avoir dirigé cette thèse, et pour ton implication tout au long de ce travail. Sans toi, les statistiques et l'anglais de l'article auraient été quelque peu ... approximatifs.
Je te remercie également pour ton enthousiasme, ton écoute et tes conseils lors de mon passage à l'institut médico-légal, puis lors de la réalisation de ce travail.
Sois assuré de ma sincère reconnaissance.

A mes proches

A Leslie, pour ton écoute, ton soutien, ton sourire, et tout ce que tu m'as apporté sans même que je ne m'en rende compte. Merci de m'avoir soutenu dans les moments de doute et d'angoisse propres à la pratique de la médecine. Et pour tout ce qu'il nous reste encore à vivre ensemble.

A mes parents, pour votre attention et votre soutien permanents, qui m'ont permis d'en arriver là aujourd'hui. Merci pour tous ces bons souvenirs passés ensemble, avec la famille, les amis, longtemps baignés dans l'insouciance de la jeunesse. A Papa pour m'avoir fait partager sa passion de la moto. A Maman pour avoir tenté en vain, par différentes méthodes, d'enrayer cette chute irréversible de mes cheveux...

A mes sœurs, Zoé et Louise, pour tous les bons moments passés ensemble et ceux encore à venir (Je ne citerai toutefois pas parmi eux les passages en boucle de Lorie et Alizée lorsque vous étiez plus jeunes..). Par ailleurs, si vous voulez que je reste au sol pour vous filmer pendant notre saut en parachute, je suis prêt à consentir à ce sacrifice et à rester sur la terre ferme.

Aux papis et aux mamies, pour tous ces merveilleux souvenirs d'enfance.

Aux tantes, aux oncles, aux cousines, et à tous ceux que j'oublie...

A ma belle-famille, qui aura réussi à me convaincre qu'il fait toujours beau en Normandie !

A mes amis d'enfance, de médecine ou plus récents, que je ne citerai pas de peur d'en oublier...
Merci pour ces moments de partage et de folie !

A Michel. Tu m'as fait découvrir avec joie la trompette, mais on aura aussi surtout bien rigolé.

Aux médecins rencontrés tout au long de mon parcours

A ceux qui m'ont soigné, plus jeune, et qui m'ont donné envie de faire ce métier. En particulier, merci aux Docteurs DEFRANCE et MATIAS.

A tous ceux que j'ai pu croiser au cours de mon parcours, et qui auront pu me marquer par leur humanité, leur savoir, et leur façon de le partager.

Aux radiologues de Tours, d'Orléans et de Bourges, qui m'auront formé à cette spécialité.

A l'équipe de l'Institut médico-légal de Tours, qui aura su me faire partager son enthousiasme et sa passion pour la médecine légale, et me conforter dans ce projet de double spécialisation.

A mes co-internes, pour leur présence dans les bons et les mauvais moments.

Table des matières

Introduction	16
I. Contexte historique	16
II. Contexte judiciaire	18
III. Contexte médico-légal.....	19
A) Introduction	19
B) Déroulement d'une consultation d'estimation de l'âge	19
C) Un sujet de recherche d'actualité	20
Matériel et Méthode	24
I. Echantillon	24
II. Mesures	24
III. Analyses statistiques.....	25
IV. Format d'image et validation des mesures	25
V. Variabilité intra et inter-observateur	26
VI. Statistiques descriptives	26
VII. Probabilité post-test (Théorème de Bayes).....	27
VIII. Comparaison avec les travaux antérieurs	27
Résultats	29
I. Echantillon analysé.....	29
II. Format des images.....	30
III. Variabilité intra et inter-observateur	30
IV. Statistiques descriptives	30
V. Probabilité post-test.....	33
VI. Approximation des courbes SROC	33
Discussion	36
I. Interprétation des résultats.....	36
II. Troisième molaire et estimation de l'âge	37
A) Applicabilité de la méthode.....	37
B) Contexte historique.....	38
III. Aspect éthique	39
IV. Variations liées au sexe	40
Conclusion.....	41
Conflit d'intérêts.....	42
Bibliographie	43
Annexe	49

Liste des figures :

Figure 1.....	16
Figure 2.....	17
Figure 3.....	21
Figure 4.....	22
Figure 5.....	23
Figure 6.....	25
Figure 7.a.....	30
Figure 7.b.....	31
Figure 8.a.....	34
Figure 8.b.....	34

Liste des tableaux :

Tableau 1.....	29
Tableau 2.....	32
Tableau 3.....	33

Introduction

I. Contexte historique

L'estimation de l'âge en contexte médico-légal est devenue une activité de premier plan des Unités Médico-Judiciaires (UMJ) en France, et en Europe. En effet, les flux migratoires vers l'Europe s'intensifient du fait de la multiplication de conflits armés d'envergure. Cette problématique migratoire est devenue une question de société qui fait régulièrement débat dans la presse nationale et internationale [1,2].

En France, on a pu constater une augmentation de 50 % de l'ensemble des demandes d'asile en 5 ans (57 337 demandes en 2011 et 85 726 en 2016), et de 24 % concernant les demandes de mineurs accompagnés (11 683 demandes en 2011 et 14 436 en 2016). Ces chiffres sont issus de publications datées du 11 Juillet 2017 et du 12 Juin 2018 rédigées par le Ministère de l'intérieur sur la base de données communiquées par l'Office Français de Protection des Réfugiés Apatrides (OFPRA) [3-5]. La **Figure 1** illustre la tendance à l'augmentation de la demande d'asile en France.

Il existe une grande diversité migratoire qui reflète la globalisation du phénomène. En France, il y a une grande hétérogénéité dans l'origine des migrants, dont les principaux pays d'origine en 2016 étaient, par ordre décroissant : le Soudan, l'Afghanistan, Haïti, l'Albanie, la Syrie, la République Démocratique du Congo, la Guinée, le Bangladesh, l'Algérie et la Chine [5].

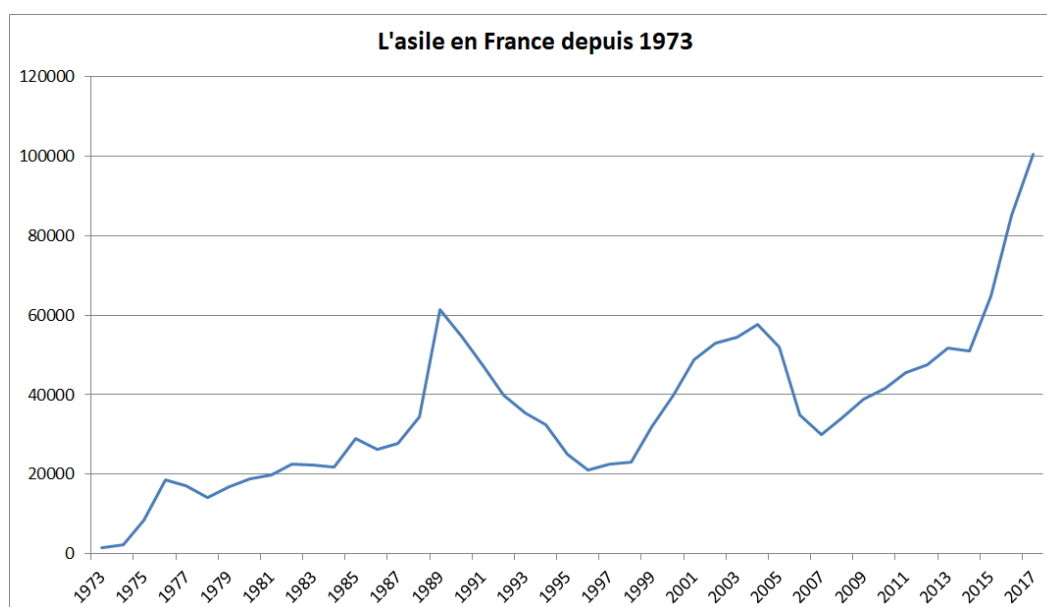


Figure 1 : représentation de l'évolution du nombre de demandes d'asile par an en France depuis 1973, basée sur des données publiées par l'OFPRA.

Ce phénomène d'intensification des migrations s'accompagne d'une augmentation du nombre de migrants mineurs voyageant seuls, aussi appelés « Mineurs non accompagnés », composés de 95,8 % d'individus de sexe masculin en 2017 [6,7]. C'est devenu en 2013 une préoccupation nationale, au moyen d'une circulaire issue de la Garde des Sceaux: « Mission mineurs isolés étrangers », dont le travail fut prolongé en 2017 par la « Mission mineurs non accompagnés» (MMNA) [8–10]. Cette mission reprend l'Article 1 de l'arrêté du 17 Novembre 2016, relatif aux modalités de l'évaluation des mineurs privés temporairement ou définitivement de la protection de leur famille, et définit les mineurs non accompagnés (MNA) de la façon suivante : « un mineur est considéré comme non accompagné lorsqu'aucune personne majeure n'en est responsable légalement sur le territoire national ou ne le prend effectivement en charge et ne montre sa volonté de se voir durablement confier l'enfant, notamment en saisissant le juge compétent » [7,11].

La MMNA observe une augmentation importante du nombre de demandes d'asile venant de mineurs non accompagnés. Ils étaient 2 555 à effectuer une demande en 2013, et 14 908 en 2017 [6]. Cela représente une augmentation de 483 % en 4 ans. La **figure 2** illustre cette tendance récente à l'augmentation du nombre de demandeurs d'asile mineurs en France.

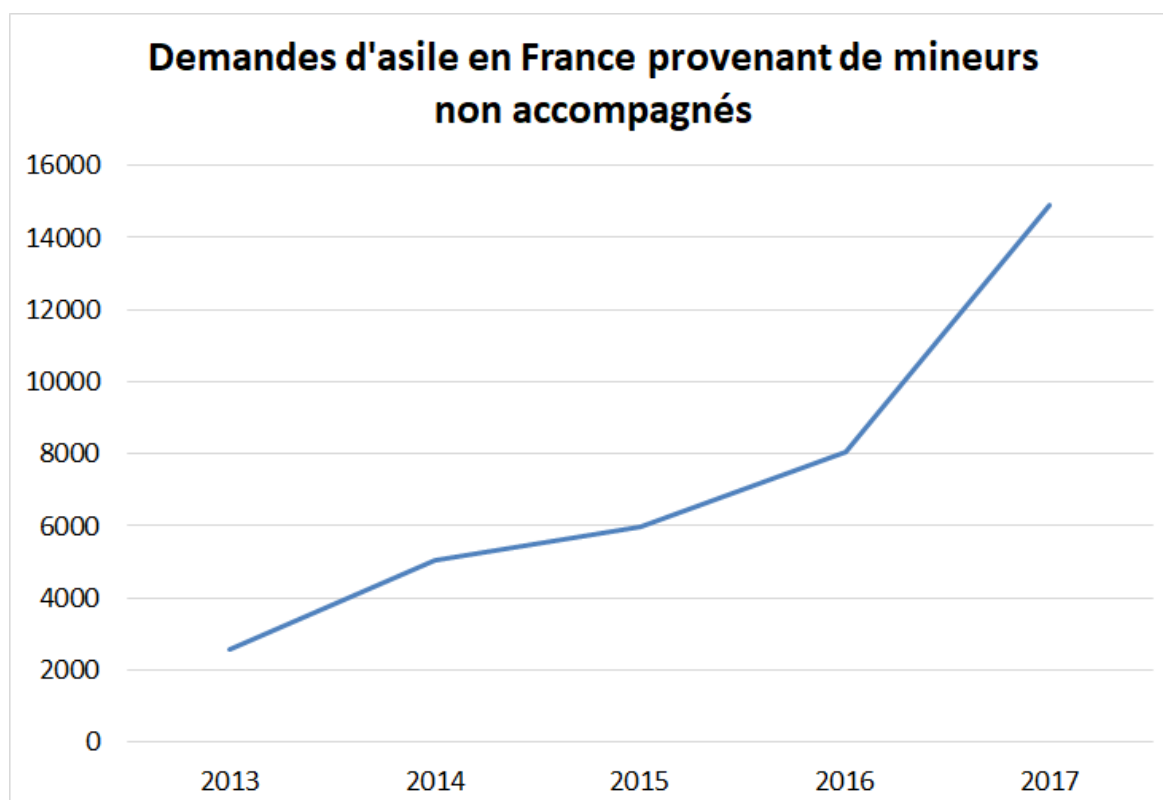


Figure 2 : représentation de l'évolution du nombre de demandes d'asile provenant de mineurs non accompagnés en France depuis 2013, basée sur des données publiées par la Mission mineurs non accompagnés.

Ainsi, la croissance relative du nombre de demandes d'asile de mineurs accompagnés est très faible (+24% en 5 ans) par rapport à celle des MNA (+483% en 4 ans). Ces MNA ont des caractéristiques populationnelles rendant le parcours de migration depuis leur pays de départ jusqu'à l'Europe et la France possible : il s'agit d'adolescents et de jeunes hommes dont l'âge est proche de 18 ans, les rendant capables d'affronter le parcours migratoire [6]. La proximité avec le seuil de 18 ans rend indispensable le développement d'outils au carrefour du droit et de la médecine pour estimer l'âge de ces MNA.

II. Contexte judiciaire

Ainsi, l'âge de ces individus doit être estimé de la manière la plus juste possible au regard du seuil de majorité de chaque pays d'accueil [12]. Ce seuil de majorité juridique est défini dans chaque pays et est en règle générale (comme en France) fixé à 18 ans [13–17]: il s'agit notamment de l'âge de majorité juridique retenu par les 123 pays Etats Parties - dont l'ensemble des Pays membres de l'Union Européenne - de la Cour Pénale Internationale (CPI) [18–21]. Le fait d'être considéré majeur a de grandes conséquences pour les personnes : par exemple, la loi Française impose à l'Etat de prendre en charge tous les demandeurs d'asiles non accompagnés âgés de moins de 18 ans [22]. Dans la plupart des pays, le fait d'être mineur permet également de bénéficier de jugements adaptés à la minorité en cas de délit ou de crime commis dans le pays d'accueil.

L'impact de la médiatisation des phénomènes de migration sur les sociétés européennes est manifeste qu'il soit politique, économique mais surtout humain. C'est particulièrement vrai pour les MNA et la communauté européenne a dû développer des recommandations concernant leur prise en charge [23].

En raison de leur pays de provenance, un certain nombre de ces MNA ne disposent pas de documents d'identité lors de leur arrivée sur le territoire national (contexte de conflits armés dans les pays natals, absence de recensement des naissances, destruction de l'archivage). D'autres disposent de documents jugés non fiables [12]. Comme nous l'avons exposé, l'état doit prendre en charge tout demandeur d'asile mineur par le biais de l'Aide Sociale à l'Enfance afin qu'il puisse avoir accès aux besoins fondamentaux d'un mineur [24]. Il est également impossible d'obliger un mineur étranger isolé à quitter le territoire français. Ces deux raisons imposent aux Etats des pays d'accueil d'avoir un système le plus fiable possible d'estimation de l'âge des MNA [22].

C'est dans ce contexte que les autorités judiciaires françaises, et plus précisément le parquetier en charge du service des mineurs, sollicitent les UMJ pour estimer l'âge biologique de ces personnes.

Cette mission est d'ailleurs de la compétence des médecins légistes dans un certain nombre de pays [23,25–27].

On rappellera que l'âge réel et l'âge biologique ont des définitions différentes. Même si l'âge réel est bien connu dans les pays occidentaux, cela n'est pas le cas partout puisque certains pays ne réalisent pas de recensement systématique des naissances, ou ce recensement ne se fait pas de façon précise (recensement de l'ensemble des naissances au 1^{er} Janvier de l'année par exemple).

III. Contexte médico-légal

A) Introduction

Les UMJ sont l'interface entre le milieu médical et la justice. Elles sont donc les structures sollicitées par les magistrats par le biais d'une réquisition. La mission de ces réquisitions consiste à tenter de définir si un individu est mineur ou majeur au moyen de l'estimation de l'âge biologique, et si l'âge biologique est compatible avec l'âge allégué [12,28].

La communauté scientifique s'est depuis longtemps intéressée à la question, en cherchant à développer des techniques d'estimation de l'âge plus performantes et/ou moins irradiantes, mais également en publiant des recommandations pour standardiser la réalisation de ces examens. Cet intérêt s'est encore accru du fait du contexte actuel, associant augmentation des consultations d'estimation d'âge et apparition d'une forte médiatisation. En effet, les médias remettent fréquemment en question la pertinence scientifique de ces techniques, d'une manière souvent éloignée de la réalité de la pratique quotidienne [29,30].

En France, différents documents ont permis d'établir le protocole d'estimation de l'âge des individus [23,28,31]. Ce protocole doit répondre aux critères de rigueur scientifique (utiliser des techniques éprouvées [31]), éthique (ne pas être dégradant pour les individus [8,28]) et de sécurité (limiter au maximum l'irradiation [32]).

B) Déroulement d'une consultation d'estimation de l'âge

Le protocole d'estimation de l'âge biologique en France respecte les recommandations publiées par l'AGFAD (« Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik ») : Groupe de travail sur l'estimation de l'âge médico-légal. Il s'agit d'un groupe de travail européen d'origine allemande qui met à jour régulièrement ses recommandations selon l'évolution des publications scientifiques.

Selon ces recommandations, l'estimation de l'âge s'effectue en plusieurs étapes [28,31] : en premier lieu un interrogatoire, dont l'objectif est de connaître l'âge rapporté par la personne, ainsi que ses

antécédents personnels. Le médecin légiste prend soin de rechercher tout problème de santé qui auraient pu interférer avec sa croissance. Le médecin légiste pourra alors, à l'aide de ces éléments, juger si les examens radiologiques doivent être effectués. Cet interrogatoire est indispensable et en cas de la présence d'une barrière du langage, le médecin devra systématiquement faire appel à un interprète lors de la consultation, sous peine de nullité du certificat.

Le deuxième temps consiste en un examen clinique : il évalue l'état général du patient, et comprend des mesures anthropométriques (taille et poids). Il a été conseillé pendant un temps de réaliser une évaluation du stade pubertaire de façon déclarative, au moyen de planches iconographiques présentées au patient afin d'évaluer son stade dans la classification de Tanner [28,33,34]. Cette évaluation a depuis été abandonnée par la plupart des équipes du fait de difficultés d'interprétation des déclarations des patients. Un examen de la denture est également réalisé, à la recherche de la présence des dents de sagesse.

La troisième partie consiste en la réalisation des examens radiologiques. Une radiographie de face du poignet et de la main gauche est systématiquement réalisée. Cette dernière est alors comparée à l'atlas de Greulich et Pyle, qui est la méthode de référence pour estimer la maturation des os du poignet et de la main [35]. Lorsque le développement osseux est considéré comme terminé sur le poignet et la main, on réalise ensuite un scanner de l'extrémité interne des clavicules. Il permet d'évaluer la maturation osseuse des épiphyses claviculaires internes à l'aide de la méthode de référence développée par une équipe allemande [36–41]. En effet l'épiphyse médiale de la clavicule est la dernière à fusionner et cette fusion s'effectue autour de l'âge des 18 ans.

La réalisation d'un orthopantomogramme (OPT), ou panoramique dentaire, ne se fait que lorsque les quatre dents de sagesse n'ont pas fini leur émergence, ou bien en cas d'état bucco-dentaire trop précaire. En effet les troisièmes molaires (M3) émergent également aux environs de 18 ans. Il n'existe actuellement pas de méthode de référence recommandée par l'AGFAD pour interpréter ce panoramique dentaire.

C) Un sujet de recherche d'actualité

Comme nous l'avons précédemment expliqué, dans la plupart des pays le seuil auquel s'intéresse les autorités dans le cadre de l'estimation d'âge est 18 ans. A ce jour, aucune méthode permet d'estimer précisément l'âge biologique au regard de cette limite. C'est la raison pour laquelle les travaux visant à améliorer les moyens d'estimer l'âge sont réalisés. Des travaux ont ainsi étudié la maturation osseuse de divers sites anatomiques (comme le genou, le bassin, le sternum, la clavicule ou encore la cheville) ; et en usant de différentes méthodes d'imagerie [42].

Parmi ces études, certaines concernent l'estimation de l'âge dentaire des individus du fait de plusieurs avantages notamment une meilleure accessibilité comparativement au scanner et à l'IRM, ainsi que par le caractère très faiblement irradiant de cet examen (élément essentiel dans ce contexte non médical). En effet, on considère l'irradiation d'un panoramique dentaire comme étant l'équivalent d'environ un jour d'irradiation naturelle en France [43]. Les études sur l'âge dentaire se focalisent sur la M3, qui est la seule dent encore en développement dans cette tranche d'âge [44]. Différentes méthodes ont alors été développées, que l'on pourrait distinguer selon deux grandes catégories : les méthodes morphologiques et les méthodes métriques.

La méthode morphologique la plus utilisée concernant la question spécifique de la majorité de l'individu est la méthode de Mincer [45]. Cette méthode est développée à partir de la méthode de Demirjian mais de façon ciblée sur les M3 [46]. La méthode de Demirjian a été développée en 1973, et étudiait l'ensemble des dents mandibulaires gauches à l'exception de la M3 sur une population cible âgée de 3 à 17 ans [47,48]. Mincer *et al.* ont repris cette classification en 8 stades et l'ont appliquée de façon spécifique aux M3, en étudiant uniquement les performances de cette méthodologie pour distinguer individus âgés de 18 ans ou plus de ceux âgés de moins de 18 ans (**Figure 3**) [45].

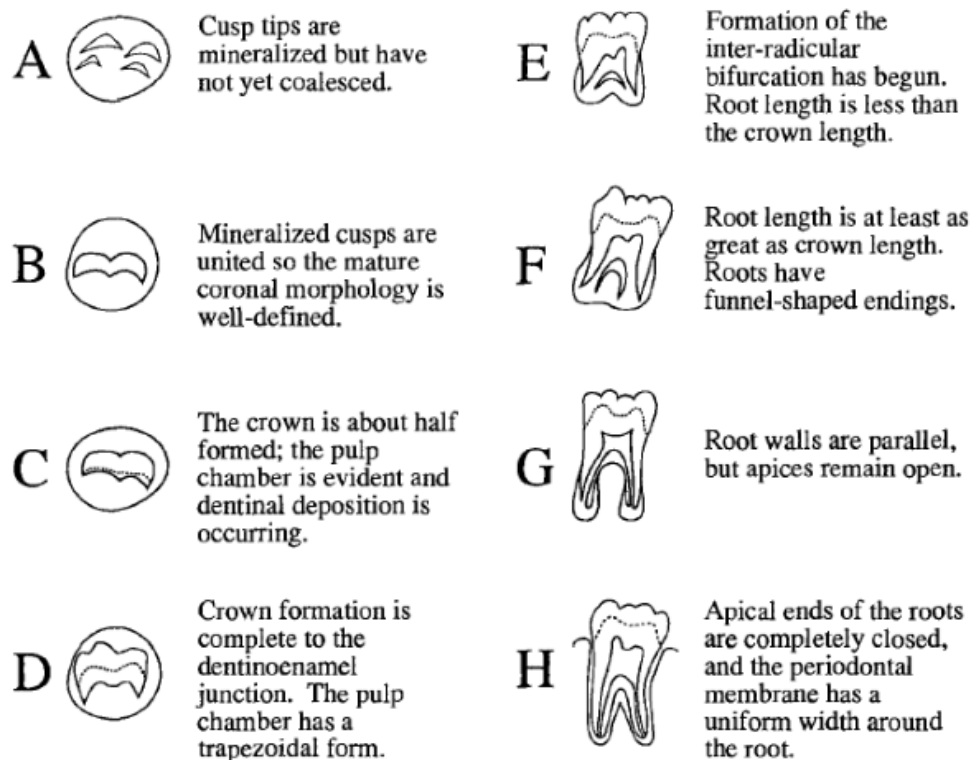


Figure 3 : représentation des 8 stades de développement des troisièmes molaires, comme présentés dans l'article initial publié par Mincer *et al.* en Mars 1993.

Cameriere *et al.* ont développé une nouvelle méthode métrique en 2008 [49], ciblée sur l'étude de la maturation des racines de la dent de sagesse inférieure gauche (dent 38 dans la classification de la Fédération Dentaire Internationale, **Annexe 1**).

Les apex des racines se ferment effectivement progressivement au cours de la croissance, d'où la possibilité d'en déduire un âge dentaire. Cette méthode est basée sur le calcul de l'index de maturité de la troisième molaire inférieure gauche - nommé « I3M » - obtenu en additionnant les distances entre les bords internes des apex ouverts des racines de la dent 38, puis en divisant cette somme par la hauteur totale de la dent (**Figure 4**). L'I3M est donc égal à 0 lorsque les apex dentaires sont fermés. La valeur seuil retenue pour avoir la meilleure fiabilité du test est de 0,08. Ainsi, les individus dont l'I3M est strictement inférieur à 0,08 sont considérés majeurs, et tous les autres mineurs.

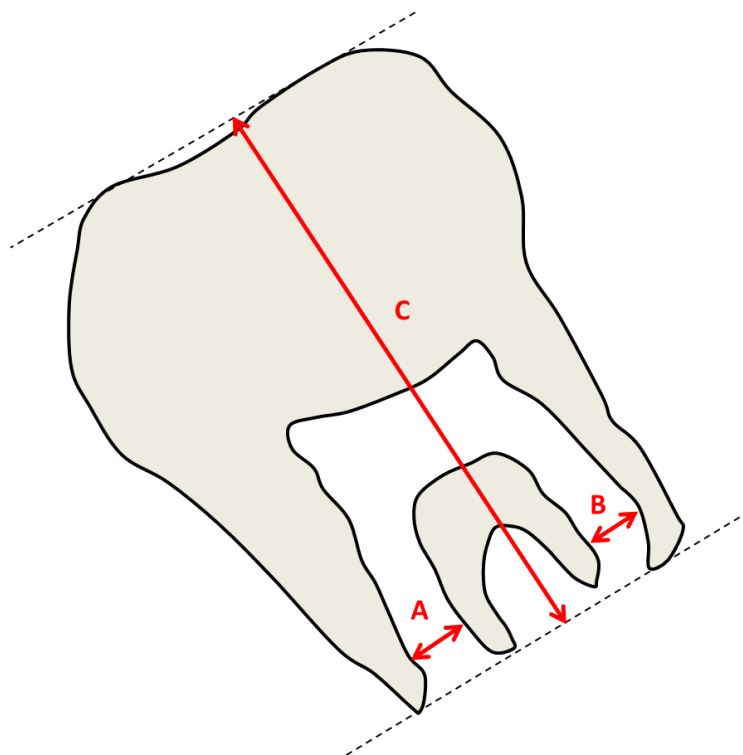


Figure 4 : représentation schématique du calcul de l'I3M, égal à $(A + B) / C$.

Cameriere a comparé sa technique avec la méthode de Mincer dans son étude princeps, et a mis en évidence une supériorité en termes de sensibilité et de spécificité [50]. Cependant, les auteurs ont insisté sur la nécessité de tester son efficacité sur d'autres populations à travers le monde. En effet, des études antérieures ont objectivé des variations dans les phénomènes de minéralisation dentaire liées aux origines ethniques [51].

La méthode de Cameriere a depuis été testée sur différents échantillons : **Figure 5** [13–17,50,52–59]. L'objectif de ce travail était de tester la fiabilité de cette méthode sur un échantillon de la population française et de comparer ces résultats à ceux des études antérieures.

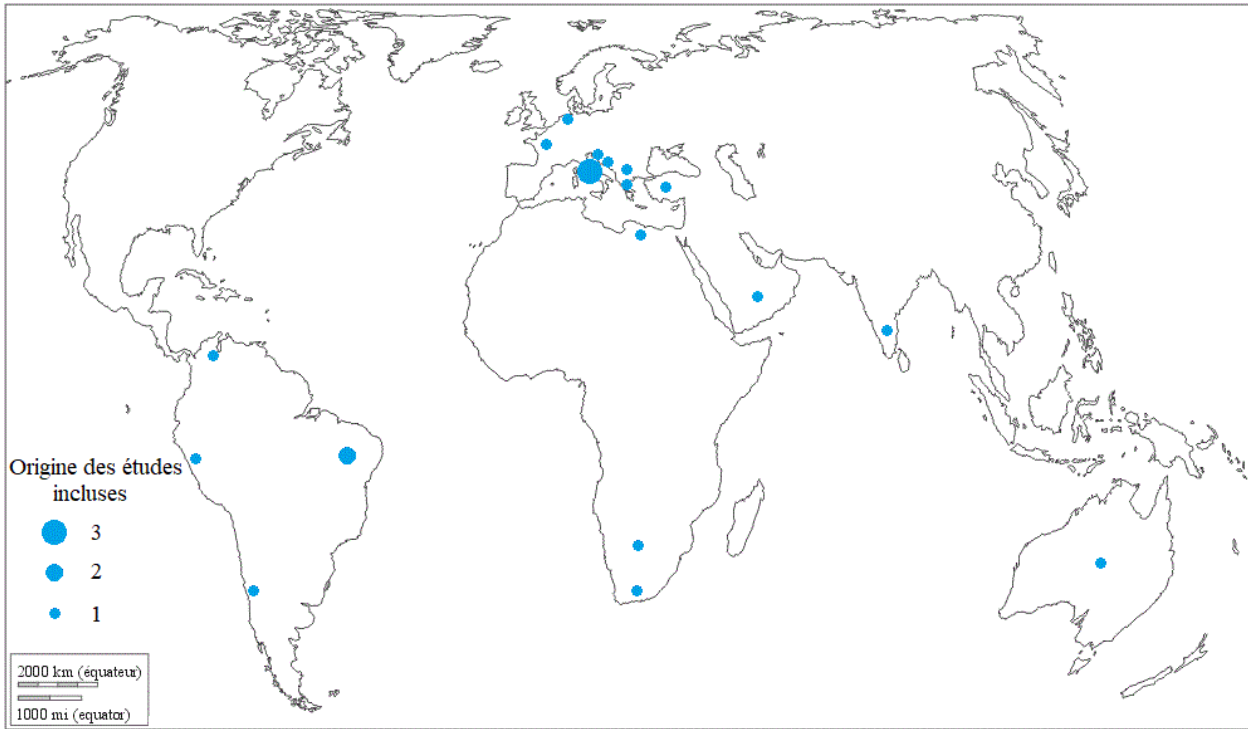


Figure 5 : carte du monde représentant les pays où la méthode de Cameriere a déjà été testée.

Matériel et Méthodes

I. Echantillon

Il s'agissait d'une étude rétrospective menée sur des orthopantomogrammes (OPGs) réalisés au Centre Hospitalier Régional Universitaire (CHRU) de Tours entre Janvier 2014 et Août 2017. Nous avons inclus des sujets d'âge identique aux précédentes études, c'est à dire âgés de plus de 14 ans et de moins de 23 ans au moment de la réalisation de l'examen [13–17,50,52–59].

Les critères d'exclusion étaient les suivants : hypodontie (absence de dents permanentes chez un individu liée à une anomalie de développement), dent de sagesse inférieure gauche (dent 38) absente ou extraite, dent présentant une rotation importante, une anomalie de développement (dent dysmorphique, racines anormalement courtes), dent cariée ou ayant bénéficié de soins dentaires. Les individus qui avaient eu leur panoramique dentaire dans le cadre d'une estimation de l'âge ont également été exclus.

Comme dans l'étude princeps, uniquement les dents 38 pouvaient être analysées, et ce qu'elles soient impactées ou qu'elles aient fini leur émergence, dès lors que des mesures fiables étaient réalisables [49].

Lors de la sélection des images au format DICOM du PACS (Picture Archiving and Communication System), celles-ci ont été anonymisées. Seuls l'âge au moment de la réalisation de l'OPG et le sexe ont été conservés à l'aide d'un tableau de correspondance. Cette étude rétrospective a été réalisée en accord avec les principes éthiques français (notamment basés sur la Déclaration d'Helsinki) et le comité d'éthique local [60].

II. Mesures

L'ensemble des OPGs inclus ont été acquis à l'aide de la machine Planmeca Promax 2D S2 (*Planmeca Oy, Helsinki, Finland*). L'index de maturité de la M3 inférieure gauche (I3M) a été calculé pour l'ensemble des individus, en respectant la méthode décrite par Cameriere *et al.* dans leur étude princeps [49]. L'I3M est obtenu grâce aux mesures représentées sur la **Figure 6**. Ces mesures ont ensuite été utilisées pour les différentes étapes statistiques décrites ci-dessous.

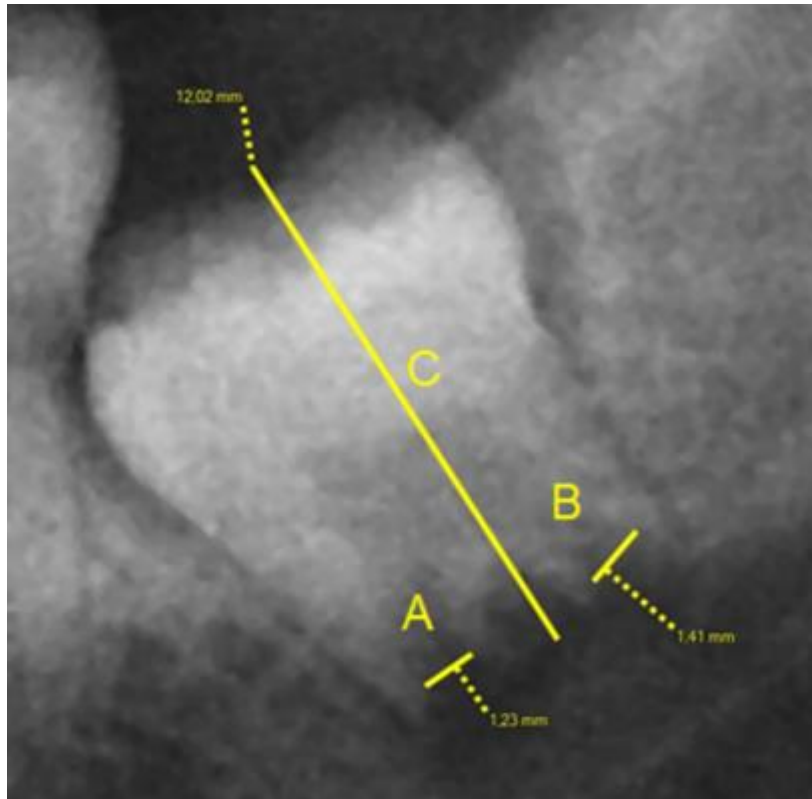


Figure 6 : représentation sur une dent 38 du calcul de l'I3M, égal à $(A + B) / C$.

III. Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique R ((*R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*) [61]).

IV. Format d'image et validation des mesures

Dans la majorité des études antérieures, les mesures ont été effectuées sur des images au format JPG afin de les étudier à l'aide d'un logiciel de traitement d'images (Adobe Photoshop®, ou Image J® (IJ)).

Nous avons réalisé les mesures sur le PACS pour deux raisons : la première étant le gain attendu dans la qualité d'image (l'extraction au format JPG entraînant une perte de données), et la deuxième une économie de temps de traitement de base de données notamment en évitant l'étape d'extraction des images du PACS.

Il a donc fallu que nous nous assurions de la reproductibilité des mesures entre celles effectuées sur les données au format JPG et celles au format DICOM. Deux séries de mesures ont donc été réalisées sur 40 OPGs sélectionnés de façon aléatoire. Elles ont été réalisées par le même

observateur (LR) à 3 semaines d'intervalle, pour éviter tout biais de mémorisation. Les mesures ont été réalisées à l'aide du logiciel Image J® pour le format JPG et du PACS Carestream® (Carestream Health, Rochester, NY, USA) pour le format DICOM. Les mesures réalisées ont ensuite été comparées à l'aide d'un t-test apparié afin de vérifier l'équivalence des mesures sur les deux formats d'image.

V. Variabilité intra et inter-observateur

Un deuxième échantillon randomisé de 40 OPGs a été créé pour évaluer la variabilité intra-observateur. Deux séries de mesures ont été effectuées à six semaines d'intervalle par un observateur (LR), afin d'éviter les biais de mémorisation. La variabilité inter-observateur a été étudiée sur un troisième échantillon randomisé de 40 OPGs. Les mesures ont cette fois été réalisées par deux observateurs différents (LR et CR). Aucun des observateurs n'avait déjà travaillé sur la méthode de Cameriere avant la réalisation de l'étude. La répétabilité et la reproductibilité de la méthode ont été étudiées à la fois par calcul du coefficient de corrélation intra-classe et du coefficient Kappa de Cohen, afin de respecter la méthodologie utilisée dans les articles antérieurs évaluant cette méthode [62,63].

VI. Statistiques descriptives

Cette valeur calculée de l'I3M a ensuite été comparée à la valeur seuil définie par Cameriere *et al.*, à savoir 0,08. L'âge des individus était estimé à 18 ans ou plus dès lors que l'I3M était strictement inférieur à 0,08. Cet âge estimé sur la base de l'I3M était ensuite comparé à l'âge réel récupéré lors de l'extraction des images. Les données ont été réparties en sept catégories qui correspondent à celles retrouvées dans la littérature : [0,00 - 0,04[, [0,04 - 0,08[, [0,08 - 0,3[, [0,3 - 0,5[, [0,5 - 0,7[, [0,7 - 0,9[, [0,9 - 1,6[[13–17,55,57–64]. Les statistiques descriptives (nombre d'individus, moyenne d'âge et son écart-type, âge minimum, du premier quartile, âge médian, du troisième quartile, âge maximum, valeur de t avec son intervalle de confiance à 95%, valeur de *p*) concernant l'âge des individus ont été reportées pour chacune de ces sept catégories, et des boîtes à moustaches de Tukey ont été réalisées par sexe et par catégorie. Un t-test indépendant a ensuite été réalisé pour comparer les résultats obtenus chez les individus de sexe masculin et de sexe féminin pour chacune des sept catégories d'I3M afin de vérifier s'il existait une différence entre les I3M des deux sexes.

VII. Probabilité post-test (Théorème de Bayes)

Afin d'avoir des données comparables à celles publiées dans les études antérieures, nous avons calculé la probabilité post-test de Bayes (p). Il s'agit de la probabilité d'être âgé de 18 ans ou plus lorsque l'I3M est strictement inférieur à 0,08 (soit la proportion d'individus avec un I3M < 0,08 qui sont effectivement âgés de 18 ans ou plus) Elle se calcule à partir du théorème de Bayes, qui s'écrit comme suit :

$$(1) \quad p = \frac{p_1 * p_0}{(p_1 * p_0) + (1 - p_2)(1 - p_0)}$$

Où dans (1) : p_1 est la sensibilité du test, p_2 la spécificité du test, p_0 la probabilité que le sujet soit âgé de 18 ans ou plus dans la population cible (soit les individus âgés de 14 à 22 ans dans la population française). Concernant les probabilités p_1 et p_2 , celles-ci sont calculées à l'aide des tables de contingence estimées pour le seuil d'âge de 18 ans - qui correspond au seuil de majorité - et au seuil d'I3M de 0,08 - qui correspond à la positivité du test. Enfin, p_0 a été calculée en se basant sur les données publiées par l'INSEE (Institut National de Statistique et des Etudes Economiques), référencant la population française par sexe et par âge au 1er Janvier 2017 [64].

Elle s'est alors définie comme la proportion de Français âgés de 18 à 22 ans sur celle âgée de 14 à 22 ans. Cette proportion a été calculée comme étant égale à 53,5 % chez la femme et 53,2 % chez l'homme.

VIII. Comparaison avec les travaux antérieurs

Un des objectifs de notre travail était de comparer nos résultats à ceux des études antérieures. Une méta-analyse récente, réalisée à la fin de l'année 2017, a repris et analysé l'ensemble des travaux déjà publiés à propos de la méthode de Cameriere [65]. Les résultats obtenus sur les différentes populations étudiées à travers le monde y ont été synthétisés par le biais du calcul d'équations de courbes ROC résumées (SROC), et le calcul des aires sous la courbe (AUC). L'AUC est un paramètre simple et unique pour apprécier à la fois la sensibilité et la spécificité d'un test et la courbe SROC permet d'une manière simple et graphique de synthétiser l'ensemble des résultats d'un test diagnostique d'une méthode quantitative [66]. Nous nous sommes servis des données déjà publiées dans la littérature avant et après la méta-analyse pour réaliser les courbes SROC. Nous

avons ensuite placé un point correspondant à la sensibilité et à la spécificité de notre échantillon de population française sur les graphiques de ces courbes SROC afin de situer nos résultats par rapport aux résultats des études antérieures.

Résultats

I. Echantillon analysé

Nous avons sélectionné 431 OPGs, 187 femmes et 244 hommes. La distribution par âge et par sexe de notre échantillon de population française est présentée dans le **Tableau 1**. Le nombre minimum d'individus par catégorie d'âge était de 37 pour les individus âgés de 14 ans et le nombre maximum d'individus par catégorie d'âge était de 59 pour les individus âgés de 16 ans. Nous avons également indiqué dans le **Tableau 1** le nombre d'individus qui avaient un apex dentaire fermé (I3M = 0). La première fermeture apicale a été observée à l'âge de 17 ans chez les femmes et de 18 ans chez les hommes. Il existait encore des apex ouverts à l'âge de 22 ans chez les deux sexes.

Catégories d'âge	Hommes	Femmes	Total
14	22	15	37
15	23	26	49
16	35	24	59
17	23	20(1)	43
18	20(2)	19(2)	39
19	34(15)	22(5)	56
20	29(7)	19(5)	48
21	33(18)	24(6)	57
22	25(12)	18(10)	43
Total	244	187	431

Tableau 1 : tableau descriptif de l'échantillon en fonction de l'âge et du sexe. Les chiffres entre parenthèses représentent pour chaque groupe les individus qui avaient des apex dentaires fermés (I3M = 0).

II. Format des images

Il n'existait pas de différence significative entre les valeurs d'I3M obtenues par calcul sur les formats DICOM sur le logiciel de PACS ou sur les formats JPG à l'aide du logiciel Image J® : le résultat du t-test était $t = 2,15$ avec $p = 0,03$. Ainsi, l'ensemble des OPGs ont ensuite été étudiés par analyse directe sur le PACS au format DICOM.

III. Variabilité intra et inter-observateur

Les coefficients de corrélation intra-classes étaient respectivement de 0,98 [0,97 ; 0,99] et 0,98 [0,96 ; 0,99] ; concernant la variabilité intra et inter-observateur.

Les coefficients Kappa de Cohen étaient respectivement de 0,99 [0,977 ; 0,99] et 0,94 [0,899 ; 0,99] concernant la variabilité intra et inter-observateur.

IV. Statistiques descriptives

L'âge chronologique des individus diminuait progressivement avec l'augmentation de l'I3M, à la fois chez les hommes et les femmes (Figures 7.a et 7.b).

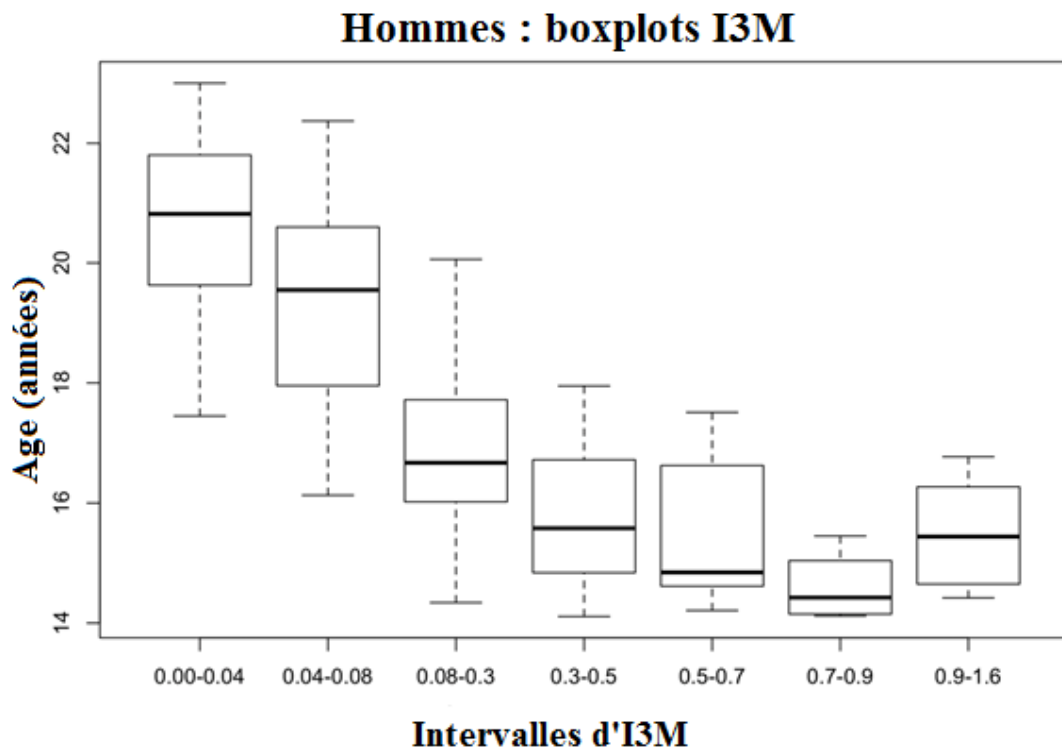


Figure 7.a : boîte à moustache de Tukey représentant la répartition de l'âge pour chaque catégorie d'I3M chez l'homme.

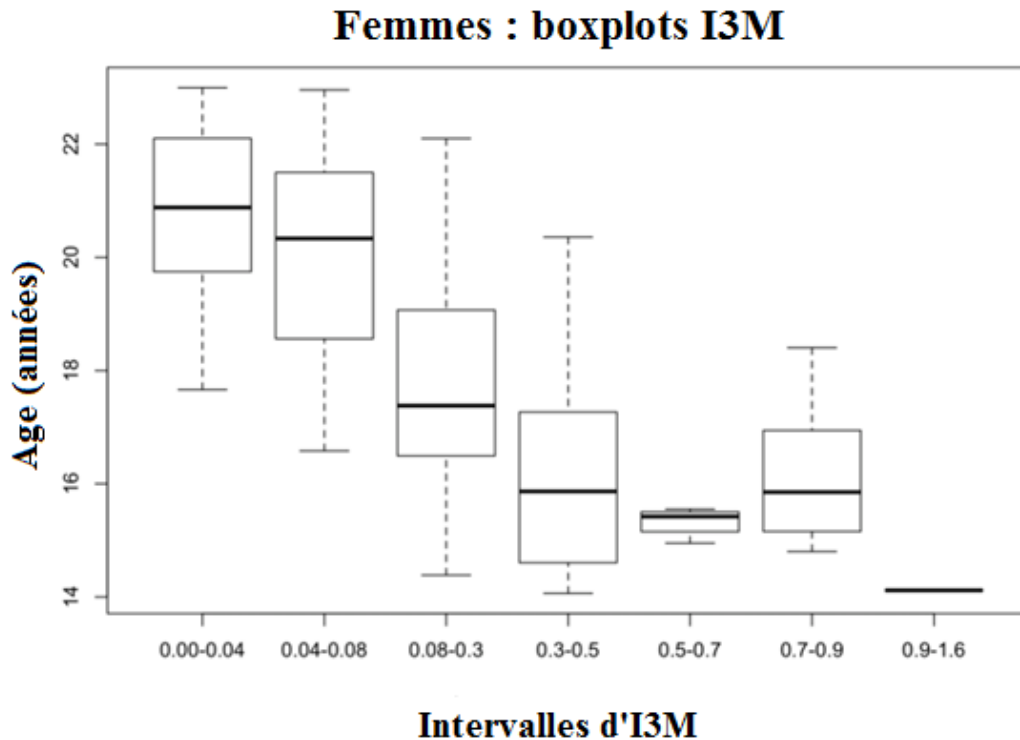


Figure 7.b : boîte à moustache de Tukey représentant la répartition de l'âge pour chaque catégorie d'I3M chez la femme.

Le **Tableau 2** concerne les statistiques descriptives centrées sur l'âge des individus, en fonction du sexe, pour chaque catégorie d'I3M. Concernant le t-test indépendant à la recherche d'une différence significative de moyenne d'âge entre les hommes et les femmes, les résultats montrent que cette moyenne d'âge varie effectivement en fonction du sexe des individus de façon significative ($p < 0,05$) pour deux groupes d'I3M. Il s'agissait des catégories $[0,08 - 0,3[$ ($p = 0,045$) et $[0,7 - 0,9[$ ($p = 0,003$).

I3M	Femmes	n	Moy	SD	Min	Q1	Méd	Q3	Max	Hommes	n	Moy	SD	Min	Q1	Méd	Q3	Max	t [CI95%]	p
0,00-0,04		49	20,76	1,49	17,66	19,75	20,88	22,10	23,00		99	20,74	1,37	17,45	19,63	20,82	21,80	23,00	0,084 [-0,484 - 0,527]	0,933
0,04-0,08		37	19,94	1,83	16,58	18,56	20,33	21,50	22,96		43	19,43	1,77	16,13	17,96	19,55	20,60	22,37	1,258 [-0,296 - 1,311]	0,213
0,08-0,3		53	17,77	1,83	14,39	16,49	17,38	19,07	22,10		50	17,08	1,65	14,34	16,03	16,67	17,67	21,56	2,033 [0,017 - 1,375]	0,045
0,3-0,5		28	16,08	1,75	14,06	14,62	15,86	17,16	20,36		33	15,80	1,06	14,11	14,84	15,58	16,72	17,95	0,728 [-0,489 - 1,041]	0,471
0,5-0,7		9	15,33	0,46	14,51	15,15	15,42	15,50	16,20		8	15,49	1,28	14,21	14,64	14,84	16,33	17,51	-0,326 [-1,241 - 0,93]	0,753
0,7-0,9		10	16,11	1,16	14,80	15,23	15,85	16,91	18,41		6	14,60	0,54	14,12	14,17	14,42	14,93	15,45	3,539 [0,594 - 2,436]	0,003
0,9-1,6		1	14,12	NA	14,12	14,12	14,12	14,12	14,12		5	15,51	1,01	14,42	14,65	15,44	16,27	16,77	NA	NA

Tableau 2 : statistiques descriptives de l'âge des individus pour chaque catégorie d'I3M, analysées de façon indépendante pour chaque sexe. Les deux dernières colonnes représentent le résultat d'un t-test indépendant (t avec son intervalle de confiance à 95 % et les valeurs de p correspondantes), comparant les moyennes d'âge obtenues pour les deux sexes. (n) nombre d'individus, (Moy) moyenne, (SD) écart-type, (Min) âge minimum, (Q1) premier quartile, (Méd) médiane, (Q3) troisième quartile, (Max) âge maximum, (t [IC95%]) valeur de t avec son intervalle de confiance à 95%, (p) valeur de p, jugée significative si < 0,05.

V. Probabilité post-test

Le **tableau 3** représente les tables de contingence avec d'une part l'âge seuil de 18 ans, correspondant à la majorité de l'individu, et d'autre part la valeur seuil d'I3M < 0,08, correspondant à la positivité au test. Ces tables de contingence permettent de visualiser, pour chaque sexe, la forte association entre la positivité au test et l'âge ≥ 18 ans des individus.

Test	Femmes			Hommes		
	Age ≥ 18	Age < 18	Total	Age ≥ 18	Age < 18	Total
I3M < 0,08 (T=1)	76 (VP)	10 (FP)	86	130 (VP)	12 (FP)	142
I3M $\geq 0,08$ (T=0)	26 (FN)	75 (VN)	101	11 (FN)	91 (VN)	102
Total	102	85	187	141	103	244

Tableau 3 : représentation de la performance du test (I3M < 0,08) pour distinguer individus majeurs et mineurs, pour chaque sexe.

Chez les hommes, la sensibilité du test (proportion d'individus âgés de 18 ans ou plus dont le test a été positif) était de 92,19 % (IC 95% : 86,46 – 96,04 %), et la spécificité (proportion d'individus âgés de moins de 18 ans dont le test a été négatif) était de 88,35 % (IC 95% : 80,53 – 93,80 %). La proportion d'individus correctement classés était de 90,57 % (IC 95% : 86,19 – 93,93 %). La probabilité estimée post-test p (la probabilité qu'un sujet positif au test (I3M < 0,08) soit effectivement âgé de 18 ans ou plus) était de 0,899 (IC 95% : 0,861 – 0,936).

Chez les femmes, la sensibilité du test était de 74,51 % (IC 95% : 68,26 – 80,75 %), et la spécificité était de 88,23 % (IC 95% : 83,61 – 92,85 %). La proportion d'individus correctement classés était de 80,75 % (IC 95% : 75,09 – 86,39 %), et la probabilité estimée post-test p était de 0,879 (IC 95% : 0,833 – 0,926).

VI. Approximation des courbes SROC

Nous avons calculé les paramètres de la courbe SROC à partir de l'ensemble des études antérieures et de leurs différentes sensibilités et spécificités. Nous avons tout d'abord représenté en bleu sur les **Figures 8.a** et **8.b** les courbes SROC obtenues ainsi que leur intervalle de confiance à 95% pour chaque sexe. Nous avons ensuite représenté, sous la forme d'un point gris, le résultat correspondant à la sensibilité et la spécificité de cette étude.

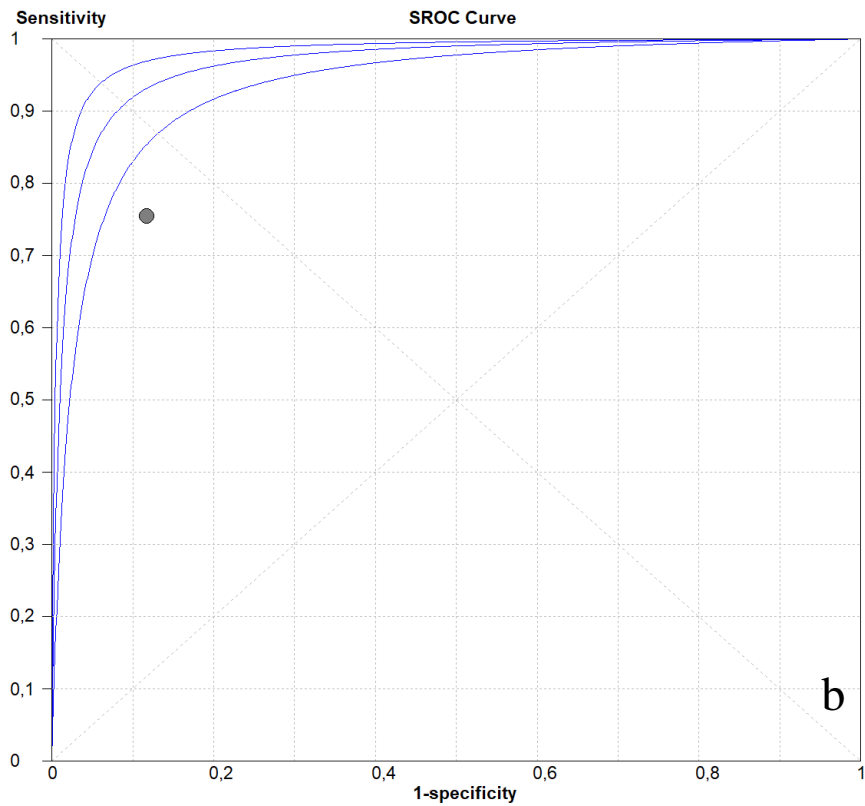
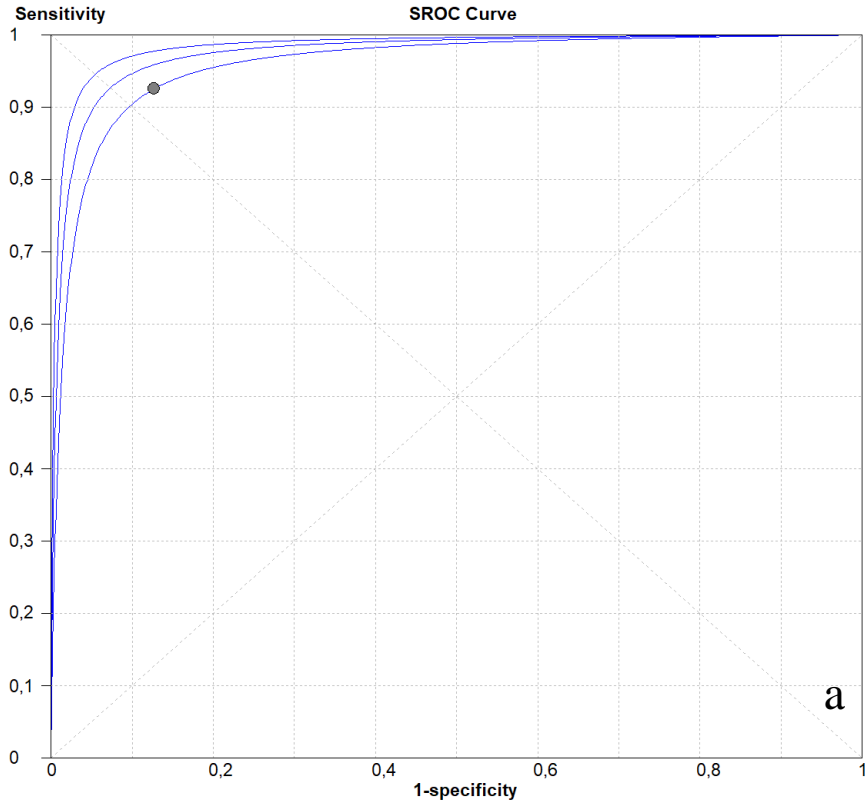


Figure 8 : courbes SROC et leur intervalle de confiance à 95% (représentées en bleu). Le point gris correspond aux résultats de cette étude ; a : sexe masculin ; b : sexe féminin.

Concernant les hommes, nous observons que les résultats de notre étude se situent dans l'intervalle de confiance de la courbe SROC. A l'opposé concernant les femmes, nous observons que la spécificité et la sensibilité y sont inférieures par rapport aux études antérieures. En effet, le point représentant nos résultats se situe sous le 2,5ème percentile soit en dessous de la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95%. Ainsi nos résultats concordent avec l'ensemble de la littérature pour les hommes et sont un peu moins bons concernant les femmes.

Discussion

I. Interprétation des résultats

L'âge dentaire est un élément clef de l'algorithme défini par l'AGFAD pour estimer l'âge biologique d'un individu [31]. Il n'existe pas de différence significative entre des mesures effectuées sur des fichiers natifs DICOM et des fichiers compressés de type JPG. Pour des raisons de qualité, il apparaît plus facile de travailler sur les fichiers natifs DICOM. L'opportunité de pouvoir travailler sur des fichiers compressés est intéressante en cas de nécessité de télétransmission / télémedecine. En effet, l'estimation de l'âge biologique est dévolue pour différentes raisons aux médecins légistes et aux radiologues. Les rapports définitifs relèvent plutôt de la compétence et de l'expertise du médecin légiste, mais il n'y en a pas dans chaque centre hospitalier effectuant des estimations d'âge biologique. Compte tenu du caractère normé de chaque consultation, on peut imaginer le développement de protocoles de télémedecine permettant à différents centres hospitaliers (dont un CHU et son IML) de collaborer pour réaliser des estimations d'âge biologique en ayant accès à l'expertise d'un médecin légiste pour la rédaction des rapports. Cette méthode d'estimation de l'âge dentaire est assez simple d'apprentissage comme les observateurs (LR et CR) ont pu s'en rendre compte au cours de la procédure de validation de la reproductibilité des mesures de l'I3M. En effet, la variabilité intra et inter-observateur témoignent de la bonne reproductibilité et répétabilité de la méthode.

Les résultats de notre étude réalisée sur un échantillon français indiquent une classification correcte (soit le rapport entre la somme des vrais positifs et des vrais négatifs divisée par le nombre total de sujets inclus) de 80,75 % chez les femmes et de 90,57 % chez les hommes. La sensibilité et la spécificité du test étaient respectivement de 74,51 % et 88,23 % chez les femmes et de 92,19 % et 88,35 % chez les hommes. La probabilité post-test p était de 0,879 chez les femmes et de 0,899 chez les hommes. La spécificité était donc semblable chez les deux sexes, mais la sensibilité était de 17 % supérieure chez l'homme.

Cameriere *et al.* ont fait le choix de ne pas dissocier les résultats entre les hommes et les femmes du fait de l'absence de différence significative observée entre les deux sexes dans leur étude princeps. A titre indicatif, Cameriere *et al.* ont obtenu dans l'étude princeps une classification correcte de 83 % des individus, une sensibilité globale de 70 %, une spécificité globale de 98 % et une probabilité post-test p de 98%. Nous avons fait le choix de présenter les résultats par sexe car l'examen des **Figures 8.a** et **8.b** permet de visualiser qu'il existe clairement une différence qu'il paraît important de montrer. Malheureusement il n'est pas possible de déterminer précisément la cause de cette

différence. Cependant, on note qu'il existe un écart important dans le volume des échantillons : la différence entre les deux échantillons représente 57 individus soit plus de 13% de l'ensemble de la population. L'hypothèse d'un biais populationnel est une possibilité réelle qu'il conviendrait d'explorer en réalisant le même type d'étude sur un échantillon plus important. Il faut noter que les courbes SROC utilisées dans les **Figures 8** correspondent à la somme des résultats des travaux utilisés dans la méta-analyse de 2017 ainsi que ceux postérieurs à celle-ci [13–17,50,52–59]. Ainsi cette actualisation des données de la méta-analyse a montré des résultats comparables aux données antérieures pour les hommes, et un peu moins bons pour les femmes. La pertinence augmentée du test chez l'homme comparativement au sexe féminin est un élément fréquemment retrouvé dans les études antérieures, même si la différence reste non significative (d'où une valeur seuil d'I3M fixe à 0,08 pour les deux sexes).

II. Troisième molaire et estimation de l'âge.

A) Applicabilité de la méthode

Plus un individu est jeune, plus il est facile d'estimer précisément l'âge de cet individu. En effet, la multiplicité des sites anatomiques en cours de développement et de maturation permet de diversifier les méthodes d'estimation de l'âge [67–74]. Lorsque la maturation se termine les sites qui peuvent être étudiés sont peu nombreux. Malheureusement, le moment de fin de maturation du squelette correspond globalement aux âges qui intéressent le médecin légiste et le radiologue pour l'estimation de la minorité ou de la majorité d'un individu. Cela se vérifie également pour les méthodes d'estimation de l'âge dentaire des individus : tandis que les individus jeunes (enfants ou adolescents) bénéficient de méthodes précises étudiant plusieurs dents, seules les dents de sagesse sont encore analysables pour le seuil spécifique des 18 ans, l'ensemble des autres dents ayant fini leur maturation [75]. Il s'agit de la difficulté principale des méthodes développées pour distinguer individus majeurs et mineurs, qui s'intéressent aux dents de sagesse depuis plus de 50 ans [76].

La méthode de Cameriere est basée sur des mesures normalisées d'une seule dent, la M3 inférieure gauche, ou dent n°38. En effet, l'I3M est obtenu en additionnant les distances A et B, puis en divisant cette somme par la hauteur dentaire C (**Figures 4 et 6**) : cette dernière étape est indispensable, car elle permet d'obtenir un ratio et donc de normaliser les mesures obtenues. En l'absence de normalisation des mesures, la méthode serait soumise à un biais important lié aux conditions de réalisation du cliché (pourcentage de zoom, etc).

Le fait qu'une seule des 32 dents disponibles soit utilisée présente des limites. En effet, toute altération de celle-ci rend la méthode inutilisable : dent absente, exérèse chirurgicale, anomalies morphologiques rendant la réalisation d'une mesure fiable impossible (dents cariées, traitées, présentant une rotation, etc.). Une étude a été réalisée sur la M3 inférieure droite – soit la dent n° 48 – et elle présentait des résultats concordants avec ceux obtenus sur la dent n° 38 pour le seuil d'I3M de 0,08 [53]. Il est donc envisageable d'utiliser la dent n° 48 en cas d'absence de la dent n° 38 pour procéder au calcul de l'I3M. En revanche, aucune étude n'a validé la méthode de Cameriere pour les dents 18 et 28. L'étude princeps précise que le choix d'une M3 inférieure ne s'est pas fait sans raison. En effet, il existe une difficulté plus importante à pouvoir réaliser des mesures fiables sur les dents supérieures, notamment en raison de superpositions multiples à ce niveau. Cependant, compte tenu du risque élevé d'altération des M3 inférieures, il apparaît intéressant de se poser la question de savoir si les M3 supérieures pourraient être un substitut en cas d'éléments empêchant la mesure sur les M3 mandibulaires.

Il apparaît qu'il existe de nombreux éléments empêchant l'estimation de l'âge dentaire. Malgré cela, le fait d'avoir accès aux deux M3 inférieures est un atout en cas d'absence de l'une ou de l'autre. Les M3 supérieures restent à étudier car elles ont été d'emblée exclues dans les travaux initiaux pour des raisons méthodologiques. Cependant, la réalité de la pratique clinique peut remettre en cause cette exclusion car les absences concomitantes des dents 38 et 48 sont relativement fréquentes [77]. La méthode de Cameriere *et al.* a l'avantage d'être une méthode quantitative qui s'inscrit d'une manière cohérente dans le faisceau d'arguments nécessaire à l'estimation d'un âge biologique.

B) Contexte historique

Cela fait maintenant plus de 50 ans que la communauté scientifique a compris l'importance des dents de sagesse dans la cadre des estimations médico-légales de l'âge des individus [76]. En particulier, la contribution de l'âge dentaire pour distinguer les sujets majeurs des sujets mineurs est bien reconnue. S'il n'existe pas de méthode officiellement recommandée pour estimer l'âge dentaire, la méthode de Demirjian, basée sur l'analyse morphologique en huit stades de la maturation dentaire, a longtemps été la plus utilisée. Elle est donc considérée comme étant la méthode de référence [46]. Cette méthode a l'avantage d'avoir été développée spécifiquement pour l'estimation de l'âge dentaire. En effet concernant les méthodes d'estimation de l'âge il s'agit fréquemment d'outils ayant un objectif médical qui sont secondairement détournés de leur objectif initial pour estimer l'âge. L'exemple le plus parlant est la méthode de Greulich et Pyle qui a été

initialement développée pour diagnostiquer des retards de croissance [35,78]. Cependant, la méthode de Demirjian n'a pas été développée spécifiquement pour cibler la limite des 18 ans. C'est la raison pour laquelle Mincer *et al.* ont repris la méthodologie de Demirjian *et al.* et l'ont appliquée spécifiquement aux M3. L'inconvénient principal de ces deux méthodes est qu'elles sont qualitatives et donc susceptibles d'être plus influencées par l'expérience, l'entraînement et la qualification du professionnel de santé l'utilisant. A l'opposé la méthode développée par Cameriere *et al.* est une méthode quantitative et dépend donc moins de l'observateur utilisant la méthode. Ils ont mis en lumière une meilleure sensibilité et une meilleure spécificité que les stades G et H de la méthode de Demirjian, pour distinguer individus mineurs et majeurs [49]. Ces caractéristiques ont été ensuite confirmées par une autre étude [50]. Par ces résultats, notre étude conforte la bonne applicabilité clinique de la méthode de Cameriere sur un échantillon français, et va dans le sens des autres études réalisées à travers le monde sur différents échantillons, représentés sur la **Figure 5**. Comme l'atteste cette carte, la méthode de l'I3M bénéficie déjà d'une bonne expérimentation à travers le monde au vu de son développement récent. D'autres études ultérieures sont toutefois attendues pour continuer d'éprouver les performances de la méthode.

III. Aspect éthique

Du point de vue médico-légal, il est clairement admis qu'il est plus important de réduire les erreurs éthiques, jugées inacceptables (mineurs injustement considérés comme des adultes), que les erreurs techniques (adultes considérés à tort comme étant mineurs) [79]. En effet, l'erreur éthique se traduira par une perte de droits pour le mineur injustement considéré comme un adulte (reconduite en dehors du territoire, jugements plus sévères, éventuelle peine d'emprisonnement en milieu carcéral adulte avec possibles mises en danger du fait de l'état de vulnérabilité lié à l'âge, etc.). A l'opposé, l'erreur technique entraîne certes un traitement plus favorable pour l'individu mais une acceptabilité bien supérieure que l'erreur éthique compte tenu des enjeux sociétaux et médiatiques du phénomène migratoire.

De ce fait, l'ensemble des méthodes actuellement développées ont pour objectif de minimiser le plus possible les faux positifs. Cela se traduit par des valeurs seuils fixées pour les tests d'estimation d'âge de manière à avoir une spécificité la plus proche possible de 100 % ; tout en ayant une sensibilité correcte. Ainsi, Cameriere *et al.* ont choisi de fixer le seuil de l'I3M à 0,08, de façon à obtenir une spécificité de 98 % et une sensibilité de 70 %. Si nos résultats sont satisfaisants, avec une meilleure sensibilité obtenue, la spécificité est en revanche moins bonne (88 % pour les deux sexes). Cette baisse de spécificité traduit donc un risque majoré d'erreur éthique sur la

population française comparativement à la population caucasienne initialement étudiée. L'origine de cette variation est multifactorielle. Une étude réalisée sur un plus gros échantillon pourrait être à même d'identifier ces facteurs de variation afin de confirmer la fiabilité de la méthode.

IV. Variations liées au sexe

Même si la première fermeture complète des apex dentaires a été observée dans notre étude à l'âge de 17 ans chez les femmes et de 18 ans chez les hommes, les résultats globaux montrent une maturation plus précoce chez l'homme ; ce qui est en accord avec la majorité des études déjà publiées [65].

Le développement dentaire est un sujet très étudié, à la fois sur le plan odontologique pur, mais également anthropologique et médico-légal [75,80]. Il est bien connu que la maturation osseuse survient de façon globale plus précocement chez le sexe féminin que chez le sexe masculin [81]. Ceci est plus compliqué concernant l'âge dentaire, notamment le développement des dents de sagesse : en effet, si ce dernier commence plus précocement chez la femme que chez l'homme, il est désormais bien établi que le développement des M3 se distingue de celui de l'ensemble des autres dents [45,46,75,76]. En effet, le développement des dents de sagesse commence par la croissance de la couronne, qui est plus précoce chez les femmes. Cependant, le développement des racines de ces dents survient ensuite plus rapidement chez les hommes. L'I3M est principalement basé sur l'étude des racines dentaires : cela explique pourquoi les résultats montrent une maturation dentaire plus précoce chez l'homme. Cela se traduit par une meilleure sensibilité du test chez l'homme que chez la femme (92,19 % versus 74,51%), élément déjà retrouvé dans les études antérieures [65].

Conclusion

La méthode de Cameriere est un outil intéressant dans le cadre des consultations d'estimation d'âge ciblées sur la question de la majorité de l'individu. Il s'agit d'une méthode basée sur l'analyse des orthopantomogrammes, qui sont des examens peu irradiants, élément fondamental d'un point de vue éthique du fait de l'absence de bénéfice médical attendu de l'examen pour l'individu. Notre étude a confirmé sa simplicité d'utilisation, et sa bonne reproductibilité que ce soit par un même observateur ou entre deux observateurs.

Les facteurs limitants principaux de cette méthode sont l'absence de la dent de sagesse 38 ou l'impossibilité de réaliser les mesures du fait d'une rotation importante ou d'une dent remaniée.

Les résultats obtenus en termes de sensibilité, spécificité, proportion d'individus correctement classés et probabilité post-test p sont conformes aux données de la littérature. Cela confirme que cette méthode est bien applicable à la population française car ces résultats sont globalement comparables aux résultats antérieurs comme en atteste les courbes SROC.

Dans le cadre médico-légal, l'objectif principal d'une méthode d'estimation de l'âge est d'obtenir une erreur éthique (mineur injustement considéré comme majeur) nulle tout en ayant une erreur technique (majeur considéré comme mineur) la plus faible possible. Dans ce contexte, l'utilisation de la méthode de Cameriere ne s'envisage qu'en complément des autres méthodes actuellement recommandées, à savoir un interrogatoire du patient, un examen clinique, une radiographie du poignet et de la main gauches, éventuellement complétée par un scanner de l'extrémité interne des clavicules. Cependant il s'agit d'une méthode qui pourrait devenir référence dans l'estimation de l'âge dentaire compte tenu de ses avantages.

Conflit d'intérêts

Les auteurs n'ont aucun conflit d'intérêts à signaler.

Bibliographie

1. Europe : le pacte migratoire de la discorde. 2018 Nov 27 [cited 2019 Jan 20]; Available from: https://www.lemonde.fr/international/article/2018/11/27/europe-le-pacte-migratoire-de-la-discorde_5389173_3210.html
2. Ignore the Lies About the UN Migration Pact. It's the Only Responsible Solution to a Changing World [Internet]. Time. [cited 2019 Jan 20]. Available from: <http://time.com/5473969/mary-robinson-un-migration-compact-marrakesh/>
3. Ministère de l'Intérieur Demande d'asile au 11 juillet 2017: statistiques. In: <http://www.immigration.interieur.gouv.fr/Info-ressources/Etudes-et-statistiques/Statistiques/Essentiel-de-l-immigration/Chiffres-clefs/Archives/Statistiques-publiees-en-juillet-2017>. Accessed 17 Apr 2018.
4. Ministère de l'Intérieur Chiffres clefs de l'immigration en France. In: <http://www.immigration.interieur.gouv.fr/Info-ressources/Etudes-et-statistiques/Statistiques/Essentiel-de-l-immigration/Chiffres-clefs>. Accessed 17 Apr 2018.
5. Ministère de l'Intérieur. L'Essentiel de l'Immigration. Chiffres Clés. https://www.immigration.interieur.gouv.fr/fr/content/download/110088/877900/file/EM-2018-19-Demandes-d-asile_publication-du-12-juin-2018.pdf.
6. Rapport annuel d'activité 2017. Mission mineurs non accompagnés. Mars 2018. http://www.justice.gouv.fr/art_pix/RAA-MMNA-2017.pdf.
7. Mission Mineurs Non Accompagnés, Protection Judiciaire de la Jeunesse. Plaquette de présentation : http://www.justice.gouv.fr/art_pix/plaquette_presentation_mna.pdf.
8. Circulaire du 31 Mai 2013 relative aux modalités de prise en charge des jeunes isolés étrangers : dispositif national de mise à l'abri, d'évaluation et d'orientation. https://www.gisti.org/IMG/pdf/circ_2013-05-31_norjusf1314192c_mie.pdf.
9. Rapport d'activité du dispositif national de mise à l'abri, d'évaluation et d'orientation des mineurs isolés étrangers. http://www.justice.gouv.fr/publication/mna/ra_dispositif_mie.pdf.
10. Rapport annuel d'activité 2016. Mission Mineurs non accompagnés. Mars 2017. http://www.justice.gouv.fr/art_pix/RAA_MMNA_2016.pdf.
11. Arrêté du 17 novembre 2016 pris en application du décret n° 2016-840 du 24 juin 2016 relatif aux modalités de l'évaluation des mineurs privés temporairement ou définitivement de la protection de leur famille | Legifrance [Internet]. [cited 2019 Jan 20]. Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2016/11/17/JUSF1628271A/jo/texte>
12. Circulaire interministérielle relative à la mobilisation des services de l'Etat auprès des conseils départementaux concernant les mineurs privés temporairement ou définitivement de la protection de leur famille et les personnes se présentant comme tels. http://www.justice.gouv.fr/publication/mna/circ_intermin20160125.pdf.

13. Deitos AR, Costa C, Michel-Crosato E, Galić I, Cameriere R, Biazevic MGH. Age estimation among Brazilians: Younger or older than 18? *J Forensic Leg Med*. 2015;33:111–5.
14. Dardouri AAK, Cameriere R, De Luca S, Vanin S. Third molar maturity index by measurements of open apices in a Libyan sample of living subjects. *Forensic Sci Int*. 2016;267:230.e1-230.e6.
15. Gulsahi A, De Luca S, Cehreli SB, Tirali RE, Cameriere R. Accuracy of the third molar index for assessing the legal majority of 18 years in Turkish population. *Forensic Sci Int*. 2016;266:584.e1-584.e6.
16. De Luca S, Aguilar L, Rivera M, Palacio LAV, Riccomi G, Bestetti F, et al. Accuracy of cut-off value by measurement of third molar index: Study of a Colombian sample. *Forensic Sci Int*. 2016;261:160.e1-5.
17. Franklin D, Karkhanis S, Flavel A, Collini F, DeLuca S, Cameriere R. Accuracy of a cut-off value based on the third molar index: Validation in an Australian population. *Forensic Sci Int*. 2016;266:575.e1-575.e6.
18. Understanding the International Criminal Court [Internet]. [cited 2019 Jan 20]. Available from: <https://www.icc-cpi.int/iccdocs/pids/publications/uicceng.pdf>
19. Schneider ÉM, Iglesias JR, Hallberg K, Kuperman MN. Crimes against Humanity: The Role of International Courts. Chialvo DR, editor. *PLoS ONE* [Internet]. 2014 [cited 2019 Jan 20];9:e99064. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0099064>
20. Les États parties au Statut de Rome [Internet]. [cited 2019 Jan 20]. Available from: https://asp.icccpi.int/fr_menus/asp/states%20parties/pages/the%20states%20parties%20to%20the%20rome%20statute.aspx
21. Statut de Rome de la Cour pénale internationale .pdf [Internet]. [cited 2019 Jan 20]. Available from: <https://www.icc-cpi.int/nr/rdonlyres/add16852-ae9-4757-abe7-9cdc7cf02886/283948/romestatutefra1.pdf>
22. Code de l'action sociale et des familles - Article L111-2 [Internet]. [cited 2018 Mar 12]. Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074069&idArticle=LEGIARTI000006796413>
23. European Parliament, Council of the European Union (2011) Directive 2011/95/EU of the European Parliament and the council of 13 December 2011 on standards for the qualification of third-country nationals or stateless persons as beneficiaries of international protection, for a uniform status for refugees or for persons eligible for subsidiary protection, and for the content of the protection granted. *Official Journal of the European Union* 9–26.
24. Mineurs non-accompagnés : répondre à l'urgence qui s'installe [Internet]. [cited 2019 Feb 24]. Available from: <http://www.senat.fr/rap/r16-598/r16-598.html>
25. Unaccompanied Minors | Canadian Council for Refugees [Internet]. [cited 2017 Dec 13]. Available from: <http://ccrweb.ca/en/content/unaccompanied-minors>

26. American Immigration Council (2015) A guide to children arriving at the border: Laws, Policies and Responses.
27. United Nation High Commissionner for Refugees (2016) Global Report 2016. 216.
28. Haut conseil de la santé publique. Avis du 23 Janvier 2014 relatif à l'évaluation de la minorité d'un jeune étranger isolé.
https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20140123_evalminoritejeuneetrangerisole.pdf.
29. L'examen osseux, un « couperet » pour les jeunes immigrés. Le Monde.
https://www.lemonde.fr/societe/article/2014/05/08/l-examen-osseux-un-couperet-pour-les-jeunes-immigres_4410684_3224.html.
30. Interdisons les tests d'âge osseux sur les jeunes immigrés. Le Monde.
https://www.lemonde.fr/idees/article/2015/01/17/interdisons-les-tests-d-age-osseux-sur-les-jeunes-immigres_4558355_3232.html.
31. Schmeling A Study Group on Forensic Age Diagnostics of the German Association of Forensic Medicine.
<https://www.medizin.unimuenster.de/en/rechtsmedizin/schmeling/agfad/about/home/>. Accessed 12 Mar 2018.
32. Directive 97/43/Euratom du Conseil du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales, remplaçant la directive 84/466/Euratom.
33. Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. Arch Dis Child. 1969;44:291–303.
34. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. Arch Dis Child. 1970;45:13–23.
35. GREULICH, WILLIAM WALTER; PYLE, S. IDELL. Radiographic Atlas of skeletal development of the hand and wrist.
36. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. Lancet. 2001;358:89–90.
37. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Rösing FW, Geserick G. Forensic age diagnostics of living individuals in criminal proceedings. Homo. 2003;54:162–9.
38. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. Forensic age diagnostics of living people undergoing criminal proceedings. Forensic Sci Int. 2004;144:243–5.
39. Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. Forensic Sci Int. 2006;159 Suppl 1:S61-64.
40. Schmeling A, Geserick G, Reisinger W, Olze A. Age estimation. Forensic Sci Int. 2007;165:178–81.

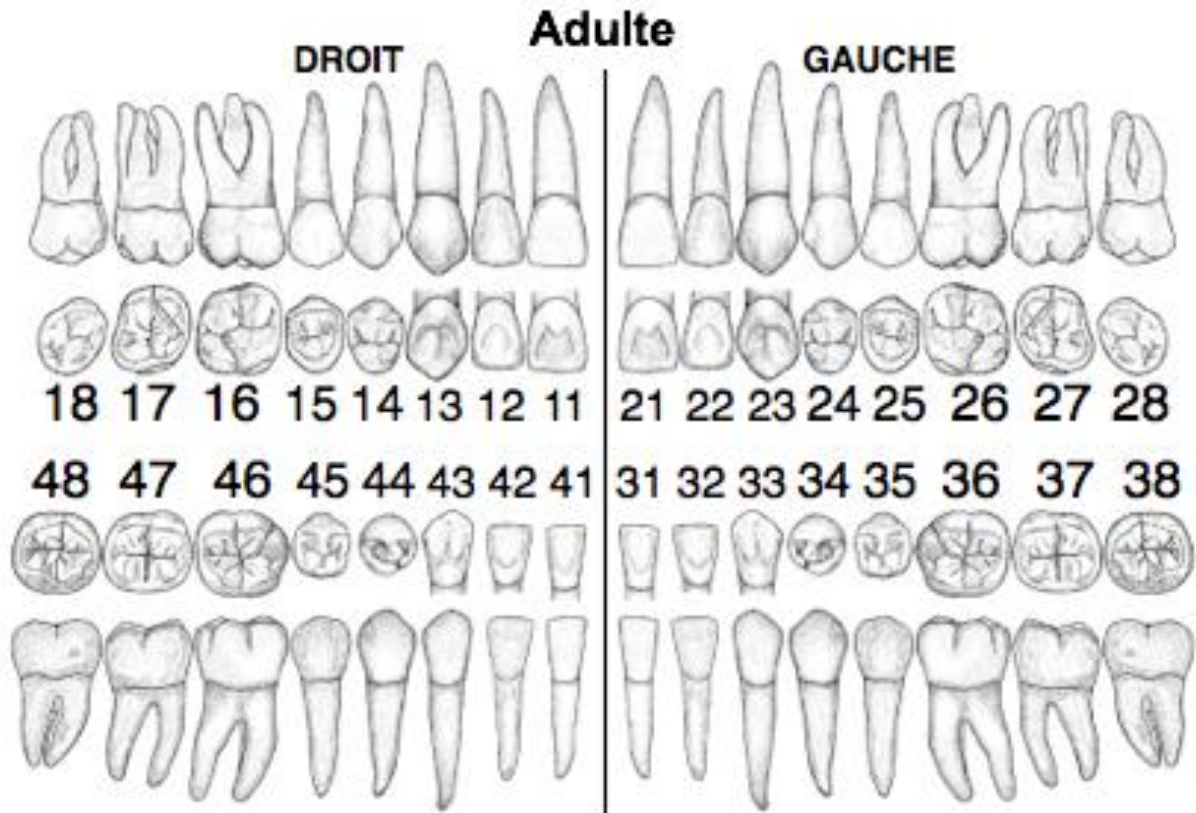
41. Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch H-J, Knell B, Ramsthaler F, et al. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2008;122:457–60.
42. Cunha E, Baccino E, Martrille L, Ramsthaler F, Prieto J, Schuliar Y, et al. The problem of aging human remains and living individuals: A review. *Forensic Science International* [Internet]. 2009 [cited 2016 Aug 4];193:1–13. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073809003703>
43. L'irradiation médicale en 10 épisodes. Société Française de Radioprotection. https://www.sfmn.org/images/pdf/GroupesDeTravail/GT_Radioprotection/Irradiation_medicale_en_10_episodes.pdf.
44. Hjern A, Brendler-Lindqvist M, Norredam M. Age assessment of young asylum seekers. *Acta Paediatr.* 2012;101:4–7.
45. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE. The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci.* 1993;38:379–90.
46. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973;45:211–27.
47. Demirjian A, Goldstein H. New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol.* 1976;3:411–21.
48. Willems G. A review of the most commonly used dental age estimation techniques. *J Forensic Odontostomatol.* 2001;19:9–17.
49. Cameriere R, Ferrante L, De Angelis D, Scarpino F, Galli F. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18 year olds in living subjects. *Int J Legal Med.* 2008;122:493–7.
50. Quispe Lizarbe RJ, Solís Adrianzén C, Quezada-Márquez MM, Galic I, Cameriere R. Demirjian's stages and Cameriere's third molar maturity index to estimate legal adult age in Peruvian population. *Leg Med (Tokyo).* 2017;25:59–65.
51. Olze A, Schmeling A, Taniguchi M, Maeda H, van Niekerk P, Wernecke K-D, et al. Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization. *International journal of legal medicine.* 2004;118:170–173.
52. Zelic K, Galic I, Nedeljkovic N, Jakovljevic A, Milosevic O, Djuric M, et al. Accuracy of Cameriere's third molar maturity index in assessing legal adulthood on Serbian population. *Forensic Sci Int.* 2016;259:127–32.
53. Cameriere R, Santoro V, Roca R, Lozito P, Introna F, Cingolani M, et al. Assessment of legal adult age of 18 by measurement of open apices of the third molars: Study on the Albanian sample. *Forensic Sci Int.* 2014;245:205.e1-5.
54. De Luca S, Biagi R, Begnoni G, Farronato G, Cingolani M, Merelli V, et al. Accuracy of Cameriere's cut-off value for third molar in assessing 18 years of age. *Forensic Sci Int.* 2014;235:102.e1-6.

55. Galić I, Lauc T, Brkić H, Vodanović M, Galić E, Biazevic MGH, et al. Cameriere's third molar maturity index in assessing age of majority. *Forensic Sci Int.* 2015;252:191.e1-5.
56. Cavrić J, Galić I, Vodanović M, Brkić H, Gregov J, Viva S, et al. Third molar maturity index (I3M) for assessing age of majority in a black African population in Botswana. *Int J Legal Med.* 2016;130:1109–20.
57. Balla SB, Galic I, P K, Vanin S, De Luca S, Cameriere R. Validation of third molar maturity index (I3M) for discrimination of juvenile/adult status in South Indian population. *J Forensic Leg Med.* 2017;49:2–7.
58. AlQahtani S, Kawthar A, AlAraik A, AlShalan A. Third molar cut-off value in assessing the legal age of 18 in Saudi population. *Forensic Sci Int.* 2017;272:64–7.
59. Boyacıoğlu Doğru H, Gulsahi A, Burçak Çehrelı S, Galić I, van der Stelt P, Cameriere R. Age of majority assessment in Dutch individuals based on Cameriere's third molar maturity index. *Forensic Sci Int.* 2018;282:231.e1-231.e6.
60. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA [Internet].* 2013 [cited 2017 Dec 19];310:2191. Available from: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.2013.281053>
61. R: The R Project for Statistical Computing [Internet]. [cited 2018 Apr 17]. Available from: <https://www.r-project.org/>
62. Bartko JJ. The Intraclass Correlation Coefficient as a Measure of Reliability. *Psychol Rep [Internet].* 1966 [cited 2018 Apr 17];19:3–11. Available from: <https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.1.3>
63. Cohen J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement [Internet].* 1960;20:37–46. Available from: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
64. Pyramides des âges – Bilan démographique 2017 | Insee [Internet]. [cited 2018 Apr 17]. Available from: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1913143?sommaire=1912926>
65. Santiago BM, Almeida L, Cavalcanti YW, Magno MB, Maia LC. Accuracy of the third molar maturity index in assessing the legal age of 18 years: a systematic review and meta-analysis. *Int J Legal Med.* 2017;
66. Walter SD. Properties of the summary receiver operating characteristic (SROC) curve for diagnostic test data. *Stat Med.* 2002;21:1237–56.
67. Thevissen PW, Kaur J, Willems G. Human age estimation combining third molar and skeletal development. *Int J Legal Med.* 2012;126:285–92.
68. Chandrakanth HV, Kanchan T, Krishan K, Arun M, Pramod Kumar GN. Estimation of age from human sternum: an autopsy study on a sample from South India. *Int J Legal Med.* 2012;126:863–8.

69. Serin J, Rérolle C, Pucheux J, Dedouit F, Telmon N, Savall F, et al. Contribution of magnetic resonance imaging of the wrist and hand to forensic age assessment. *Int J Legal Med.* 2016;130:1121–8.
70. Saint-Martin P, Rérolle C, Dedouit F, Bouilleau L, Rousseau H, Rougé D, et al. Age estimation by magnetic resonance imaging of the distal tibial epiphysis and the calcaneum. *Int J Legal Med.* 2013;127:1023–30.
71. Schmidt S, Vieth V, Timme M, Dvorak J, Schmeling A. Examination of ossification of the distal radial epiphysis using magnetic resonance imaging. New insights for age estimation in young footballers in FIFA tournaments. *Sci Justice.* 2015;55:139–44.
72. Houpert T, Rérolle C, Savall F, Telmon N, Saint-Martin P. Is a CT-scan of the medial clavicle epiphysis a good exam to attest to the 18-year threshold in forensic age estimation? *Forensic Sci Int.* 2016;260:103.e1-103.e3.
73. Fan F, Zhang K, Peng Z, Cui J-H, Hu N, Deng Z-H. Forensic age estimation of living persons from the knee: Comparison of MRI with radiographs. *Forensic Sci Int.* 2016;268:145–50.
74. Lottering N, Alston-Knox CL, MacGregor DM, Izatt MT, Grant CA, Adam CJ, et al. Apophyseal Ossification of the Iliac Crest in Forensic Age Estimation: Computed Tomography Standards for Modern Australian Subadults. *J Forensic Sci.* 2017;62:292–307.
75. Scheuer L, Black S. *Developmental Juvenile Osteology.* Academic Press Inc; 2000.
76. Moorrees CFA, Fanning EA, Edward E. Hunt jr. Age Variation of Formation Stages for Ten Permanent Teeth. *J Dent Res* [Internet]. 1963;42:1490–502. Available from: <https://doi.org/10.1177/00220345630420062701>
77. Nanda RS. Agenesis of the third molar in man. *American Journal of Orthodontics.* 1954;40:698–706.
78. Zabet D, Rérolle C, Pucheux J, Telmon N, Saint-Martin P. Can the Greulich and Pyle method be used on French contemporary individuals? *International Journal of Legal Medicine* [Internet]. 2015 [cited 2019 Feb 24];129:171–7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00414-014-1028-7>
79. Thevissen PW, Kvaal SI, Willems G. Ethics in age estimation of unaccompanied minors. *J Forensic Odontostomatol.* 2012;30 Suppl 1:84–102.
80. Rantanen AV. *The age of eruption of the third molar teeth: a clinical study based on Finnish university students.* Tilgmann; 1967.
81. Levesque G-Y, Demirjian A, Tanguay R. Sexual Dimorphism in the Development, Emergence, and Agenesis of the Mandibular Third Molar. *J DENT RES* [Internet]. 1981 [cited 2016 May 30];60:1735–41. Available from: <http://jdr.sagepub.com/content/60/10/1735>

Annexes

Annexe 1 : numérotation des dents chez l'adulte selon la Fédération dentaire internationale.



Annexe 2 : bordereau de soumission de l'article à l'International Journal of Legal Medicine en date du 07 novembre 2018 :



camille rérolle <camille.rerolle@gmail.com>

IJLM-D-18-00544 : Submission Confirmation for Cameriere's third molar maturity index in assessing age of majority: study of a French sample

Editorial Office IJLM <em@editorialmanager.com>

7 novembre 2018 à 22:54

Répondre à : Editorial Office IJLM <martina.beckhoff@ukmuenster.de>

À : Camille Rérolle <camille.rerolle@gmail.com>

Dear Dr. Rérolle,

Your submission entitled "Cameriere's third molar maturity index in assessing age of majority: study of a French sample" has been received by International Journal of Legal Medicine

The submission id is: IJLM-D-18-00544

Please refer to this number in any future correspondence.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an author. The URL is <https://ijlm.editorialmanager.com/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to our journal.

Kind regards,

Editorial Office
International Journal of Legal Medicine

Now that your article will undergo the editorial and peer review process, it is the right time to think about publishing your article as open access. With open access your article will become freely available to anyone worldwide and you will easily comply with open access mandates. Springer's open access offering for this journal is called Open Choice (find more information on www.springer.com/openchoice). Once your article is accepted, you will be offered the option to publish through open access. So you might want to talk to your institution and funder now to see how payment could be organized; for an overview of available open access funding please go to www.springer.com/oafunding.

Although for now you don't have to do anything, we would like to let you know about your upcoming options.

Recipients of this email are registered users within the Editorial Manager database for this journal. We will keep your information on file to use in the process of submitting, evaluating and publishing a manuscript. For more information on how we use your personal details please see our privacy policy at <https://www.springernature.com/production-privacy-policy> or email dataprotection@springernature.com. If you no longer wish to receive messages from this journal or you have questions regarding the Editorial Manager database and the publishing process, please email our publication office, stating the journal name(s) and your email address(es): PublicationOfficeSPI@springernature.com

In compliance with data protection regulations, please contact the publication office if you would like to have your personal information removed from the database.

Vu, les Directeurs de Thèse

Laurent BRUNEREAU

Camille REROLLE

**Vu, le Doyen
De la Faculté de Médecine de Tours
Tours, le**

RESUME

Introduction : L'estimation de l'âge chez l'individu vivant est un sujet de recherche important en médecine légale clinique, notamment du fait de l'intensification des flux migratoires. L'estimation de l'âge dentaire est un des éléments d'intérêt pour approcher l'âge biologique d'un individu. L'objectif principal était d'évaluer la performance de la méthode de Cameriere, et de sa valeur seuil de l'Index de Maturité de la troisième Molaire (individu considéré comme mineur si $I3M < 0.08$) sur un échantillon Français. **Matériel et Méthodes :** Nous avons constitué un échantillon de 431 orthopantomogrammes réalisés entre Janvier 2014 et Août 2017, sur des patients âgés de 14 à 22 ans. Nous avons ensuite calculé, sur des images anonymisées, à l'aide du logiciel de PACS Carestream®, la valeur de l'I3M pour chaque individu. Les variabilités intra et inter-observateur ont été estimées sur des échantillons de 40 sujets. La probabilité post-test a été calculée à l'aide du théorème de Bayes. Nous avons choisi de comparer nos résultats aux données existantes à l'aide de courbes ROC. **Résultats :** Les analyses statistiques ont montré la très bonne répétabilité et reproductibilité de la méthode pour les variabilités intra et inter-observateur. L'âge biologique des individus diminuait progressivement avec l'augmentation de l'I3M chez les deux sexes. La sensibilité et la spécificité du test étaient respectivement de 74,51 % et 88,23 % chez les femmes et de 92,19 % et 88,35 % chez les hommes. La proportion d'individus correctement classés et la probabilité post-test p étaient respectivement de 80,75 % et 0,879 chez les femmes et de 90,57 % et 0,899 chez les hommes. **Discussion :** Notre étude a montré que la méthode de Cameriere est un outil intéressant pour distinguer les individus majeurs et mineurs dans la population française, lorsque le seuil de 0,08 est utilisé pour l'I3M. Son utilisation ne s'envisage cependant qu'en association avec les autres méthodes recommandées (interrogatoire, examen clinique, radiographie de la main et du poignet gauches, et éventuellement scanner de l'extrémité interne des clavicules).

**Thèse pour le Doctorat en Médecine - Diplôme d'Etat
D.E.S de Radiodiagnostic et Imagerie Médicale**

RIBIER Léo né le 05 Octobre 1989

Etude de l'applicabilité de la méthode de Cameriere, basée sur le calcul de l'index de maturité de la troisième molaire inférieure gauche, pour distinguer individus majeurs et mineurs sur un échantillon Français.

55 pages - 3 tableaux - 8 figures

Résumé :

Introduction : L'estimation de l'âge chez l'individu vivant est un sujet de recherche important en médecine légale clinique, notamment du fait de l'intensification des flux migratoires. L'estimation de l'âge dentaire est un des éléments d'intérêt pour approcher l'âge biologique d'un individu. L'objectif principal était d'évaluer la performance de la méthode de Cameriere, et de sa valeur seuil de l'Index de Maturité de la troisième Molaire (individu considéré comme mineur si I3M < 0.08) sur un échantillon Français. **Matériel et Méthodes :** Nous avons constitué un échantillon de 431 orthopantomogrammes réalisés entre Janvier 2014 et Août 2017, sur des patients âgés de 14 à 22 ans. Nous avons ensuite calculé, sur des images anonymisées, à l'aide du logiciel de PACS Carestream®, la valeur de l'I3M pour chaque individu. Les variabilités intra et inter-observateur ont été estimées sur des échantillons de 40 sujets. La probabilité post-test a été calculée à l'aide du théorème de Bayes. Nous avons choisi de comparer nos résultats aux données existantes à l'aide de courbes ROC. **Résultats :** Les analyses statistiques ont montré la très bonne répétabilité et reproductibilité de la méthode pour les variabilités intra et inter-observateur. L'âge biologique des individus diminuait progressivement avec l'augmentation de l'I3M chez les deux sexes. La sensibilité et la spécificité du test étaient respectivement de 74,51 % et 88,23 % chez les femmes et de 92,19 % et 88,35 % chez les hommes. La proportion d'individus correctement classés et la probabilité post-test p étaient respectivement de 80,75 % et 0,879 chez les femmes et de 90,57 % et 0,899 chez les hommes. **Discussion :** Notre étude a montré que la méthode de Cameriere est un outil intéressant pour distinguer les individus majeurs et mineurs dans la population française, lorsque le seuil de 0,08 est utilisé pour l'I3M. Son utilisation ne s'envisage cependant qu'en association avec les autres méthodes recommandées (interrogatoire, examen clinique, radiographie de la main et du poignet gauches, et éventuellement scanner de l'extrémité interne des clavicules).

Mots clés :

Médecine légale - estimation de l'âge – majorité – minorité – âge dentaire – méthode de Cameriere – I3M – Index de maturité de la troisième molaire.

Jury :

Président : Professeur Jean-Philippe COTTIER
Directeurs de thèse : Professeur Laurent BRUNEREAU
Docteur Camille REROLLE
Membre du Jury : Professeur Pauline SAINT-MARTIN

Date de soutenance : Mercredi 13 Mars 2019