

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N° 24

THÈSE

Présentée pour le
Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 26 mars 2019

par

Céline KOLB

Née le 17/07/1992 à Luxembourg

**DÉTERMINATION DE L'ÂGE DENTAIRE DES ENFANTS ET
ADOLESCENTS : INTERÊT JUDICIAIRE ET MÉTHODES.**

Président : Pr MUSSET Anne-Marie
Assesseurs : Pr RAUL Jean-Sébastien
Pr CLAUSS François
Dr GROS Catherine-Isabelle
Dr OFFNER Damien
Dr FERNANDEZ DE GRADO Gabriel

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur C. TADDEI-GROSS

Doyens honoraires : Professeur R. FRANK
Professeur M. LEIZE
Professeur Y. HAIKEL

Professeurs émérites : Professeur W. BACON
Professeur H. TENENBAUM

Responsable des Services Administratifs : Mme F. DITZ-MOUGEL

Professeurs des Universités

V. BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
A. BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
F. CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
J-L. DAVIDEAU	Parodontologie
Y. HAIKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
O. HUCK	Parodontologie
M-C. MANIERE	Odontologie Pédiatrique
F. MEYER	Sciences Biologiques
M. MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
A-M. MUSSET	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
C. TADDEI-GROSS	Prothèses
B. WALTER	Prothèses

Maîtres de Conférences

Y. ARNTZ	Biophysique moléculaire
S. BAHİ-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
L. BIGEARD	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Y. BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
F. BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
A. BOUKARI	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
O. ETIENNE	Prothèses
F. FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
C-I. GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
S. JUNG	Sciences Biologiques
N. LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
D. OFFNER	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
M. SOELL	Parodontologie
D. WAGNER	Orthopédie Dento-Faciale
E. WALTMANN	Prothèses

Equipes de Recherche

N. JESSEL	INSERM / Directeur de Recherche
Ph. LAVALLE	INSERM / Directeur de Recherche
H. LESOT	CNRS / Directeur de Recherche
M-H. METZ-BOUTIGUE	INSERM / Directeur de Recherche
P. SCHAAF	UdS / Professeur des Universités / Directeur d'Unité
B. SENGER	INSERM / Directeur de Recherche

REMERCIEMENTS

L'élaboration et la finalisation de ma thèse n'auraient été possibles sans le précieux support, sous formes de conseils et de guidance, de certaines personnalités fortement qualifiées dans les matières couvertes par le travail en question. Il m'importe dès lors de témoigner de mon profond respect et d'exprimer ma forte considération aux personnalités qui ont joué un rôle clé dans la genèse de mon travail :

Madame le Professeur Anne-Marie Musset,
Je vous suis reconnaissante de l'honneur que vous me faites de présider mon jury de thèse.

Monsieur le Professeur Jean-Sébastien Raul,
Vous avez accepté de co-diriger l'accomplissement de ma thèse ; je m'en félicite avec gratitude.

Monsieur le Professeur François Clauss,
Qui avez donné votre accord de siéger dans ce jury.

Madame le Docteur Catherine-Isabelle Gros,
Qui avez eu la gentillesse de diriger avec compétence, assiduité et patience l'évolution des étapes successives de mon étude. Les différentes itérations ont, à chaque fois, apporté de la valeur ajoutée au texte pour, finalement, aboutir sur un produit cohérent. Je vous en suis infiniment reconnaissante.

Monsieur le Docteur Damien Offner,
Qui a accepté de participer au jury de cette thèse.

Monsieur le Docteur Gabriel Fernandez de Grado,
Qui a réalisé le traitement statistique de mon étude et qui a accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Monsieur Vincent Tridon,
Qui m'a fourni les éléments introductifs dans la matière.

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N° 24

THÈSE

Présentée pour le
Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 26 mars 2019

par

Céline KOLB

Née le 17/07/1992 à Luxembourg

**DÉTERMINATION DE L'ÂGE DENTAIRE DES ENFANTS ET
ADOLESCENTS : INTERÊT JUDICIAIRE ET MÉTHODES.**

Président : Pr MUSSET Anne-Marie
Assesseurs : Pr RAUL Jean-Sébastien
Pr CLAUSS François
Dr GROS Catherine-Isabelle
Dr OFFNER Damien
Dr FERNANDEZ DE GRADO Gabriel

Table des matières

INTRODUCTION	4
PARTIE 1 : INTERÊT JURIDIQUE DE LA DÉTERMINATION DE L'ÂGE	7
I. Histoire des droits de l'enfant	9
II. Le droit des enfants en France	10
A. Définition du mineur	10
B. Le cas particulier du mineur étranger non accompagné / mineur séparé	10
C. Pourquoi est-il important de différencier les adultes des mineurs ?	12
PARTIE 2 : LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'ÂGE	13
I. La puberté	14
II. L'âge osseux	16
A. La main et le poignet	16
B. La clavicule	19
III. L'âge dentaire	24
A. La méthode de Nolla	24
B. La méthode de Moorrees, Fanning et Hunt	29
C. La méthode de Demirjian	37
PARTIE 3 : ÉTUDE	40
I. Objectif	41
II. Patients, matériel et méthodes	41
A. Série étudiée	41
B. Examens radiographiques	41
C. Méthodes d'analyse	42
D. Traitement statistique	45
III. Résultats	45
IV. Discussion	49
CONCLUSION	52
RÉFÉRENCES : BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE	56

Liste des figures

Figure 1 : Demandeurs d'asile dans les 28 états membres de l'Union européenne de 2006 à 2017, donnés en milliers (Eurostat).	8
Figure 2 : Demandeurs d'asile considérés d'être comme mineurs non accompagnés dans les États membres de l'UE, de 2008 à 2016, à l'exclusion de la Croatie durant la période de 2008 à 2011, d'après Droit Européen de la Migration.	11
Figure 3 : Radiographie main et poignet en vue postérieure (Netter, 2011).	18
Figure 4 : Clavicule droite (Netter, 2011)	21
Figure 5 : Les 5 stades d'ossification de l'épiphyse de la clavicule (Hilleweg, 2010)	21
Figure 6 : IRM du stade d'ossification II de l'épiphyse médiale de la clavicule. Les flèches montrent le cartilage épiphysaire (Schmidt et al., 2007).	23
Figure 7 : Normes de croissance des dents maxillaires et mandibulaires des filles (en pointillé) et des garçons (en ligne continue), troisièmes molaires exclues. (Nolla, 1960)	28
Figure 8: Valeurs standard du développement coronaire et radulaire des incisives maxillaires et mandibulaires des garçons et des filles. Chaque stade est visualisé sous forme de barre horizontale, sur laquelle sont indiqués l'âge moyen et les écart types (Moorrees et al., 1963).	33
Figure 9 : Atlas de Londres : schéma chronologique illustrant le développement et l'éruption des dents (AlQahtani et al., 2010)	36
Figure 10 : Comparaison de l'âge réel par rapport aux estimations d'âges obtenues au moyen des différentes méthodes et en fonction des 3 catégories d'âge de l'étude (de 4 à 10 ans, de 11 à 15 ans et de 16 à 20 ans).	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les critères d'évaluation du développement des caractères sexuels primaires et secondaires d'après Marshall et Tanner (1969 et 1970).	15
Tableau 2 : Les 10 stades de Nolla - Développement de chacune des dents maxillaires et mandibulaires selon les stades visibles radiologiquement (Nolla, 1960).	26
Tableau 3 : Normes en fonction de l'âge pour les dents maxillaires et mandibulaires chez les individus de sexe féminin, troisièmes molaires exclues (Nolla, 1960).	27
Tableau 4 : Normes en fonction de l'âge pour les dents maxillaires et mandibulaires chez les individus de sexe féminin, troisièmes molaires incluses (Nolla, 1960).	27
Tableau 5 : Stades de développement des dents monoradiculées et pluriradiculée d'après Moorrees et al. (1963).	31
Tableau 6 : Chronologie du début de calcification (Moorrees et al., 1963).....	32
Tableau 7 : La durée de la formation coronaire (Moorrees et al., 1963).....	32
Tableau 8 : La durée de la formation radulaire (Moorrees et al., 1963)	32
Tableau 9 : Les stades de développement des dents permanentes monoradiculées et pluriradiculées (AlQahtani et al., 2010).	35
Tableau 10 : Les stades de résorption des dents de lait et les positions des dents permanentes lors de l'éruption. - d'après AlQahtani et al., 2010.	35
Tableau 11 : Les 8 stades de développement dentaire d'après Demirjian et al. (1973) associés aux radiographies et dessins des stades de maturation correspondants (Liversidge, 2012).	38

Tableau 12 : Table de conversion des stades de maturation dentaire de Demirjian en valeurs numériques (Demirjian et al., 1973).....	39
Tableau 13 : Table de conversion du score de maturité en âge dentaire (Demirjian et al., 1973).	39
Tableau 14 : Exemple d'analyse d'un OPT par les méthodes de Nolla, de Demirjian, de Olze et de l'atlas de Londres.	44
Tableau 15 : Statistiques descriptives de l'échantillon et moyennes des écarts (en valeurs absolues) entre l'âge observé et l'âge réel.	47
Tableau 16 : Comparaisons méthodes (écart moyen avec l'âge réel) entre elles, pour les 3 classes d'âges principales puis pour l'effectif complet. Résultats des tests de Student (t-Test).....	48
Tableau 17 : Second exemple d'analyse d'un OPT par les méthodes de Nolla, de Demirjian, de Olze et de l'atlas de Londres, montrant les disparités obtenues entre les différentes estimations pour un individu âgé d'un peu plus de 16 ans.	51

INTRODUCTION

Traditionnellement, en médecine légale, l'estimation de l'âge d'un corps ou d'un squelette sert à l'identification de celui-ci. L'identification d'un corps inconnu est importante d'un point de vue éthique, légal et juridique. Non seulement est-elle nécessaire à la déclaration obligatoire d'un décès, elle sert également à l'enquête d'un crime, d'une catastrophe humanitaire, d'actes terroristes, des crimes de guerre (Schmeling *et al.*, 2007).

La détermination de l'âge d'une personne vivante est un domaine plus récent de la médecine légale. Elle sert principalement à la catégorisation légale et sociale, ainsi qu'à l'évaluation de la responsabilité criminelle de l'individu en question. Cette procédure concerne les personnes ne possédant pas de papiers d'identité valides. Il s'agit majoritairement de réfugiés et demandeurs d'asile, mais également de criminels et de leurs victimes de la traite des hommes et de la pédopornographie (Black *et al.*, 2010).

Au cours de l'histoire, les européens ont émigré dans le monde. Depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, l'Europe est devenue un continent de l'immigration. La migration par voies régulières restant stable au fil des années, l'arrivée des migrants en situation irrégulière a augmenté drastiquement entre 2015 et 2016, entraînant une crise migratoire en Europe (Commission Européenne). L'accent de l'estimation de l'âge a alors été mis sur ces migrants en situation irrégulière, les réfugiés et demandeurs d'asile et plus précisément sur les enfants et adolescents. La connaissance de l'âge de ces derniers est cruciale pour leur donner la protection et le traitement qui leurs reviennent, ainsi que pour détecter les jeunes adultes prétendant être mineurs pour bénéficier de ce statut.

Les méthodes de la détermination de l'âge sont nombreuses. En 2001, l'AGFAD (*Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik*), un groupe interdisciplinaire et international a publié des recommandations sur les méthodes à utiliser chez les adolescents et jeunes adultes (Schmeling *et al.*, 2001). Ces recommandations, adaptées en 2008, conseillent les procédures suivantes (Schmeling *et al.*, 2008) :

- un examen physique, l'évaluation du développement sexuel et l'identification de troubles de développement,
- l'examen radiologique de la main gauche,
- l'examen radiologique de la dentition,

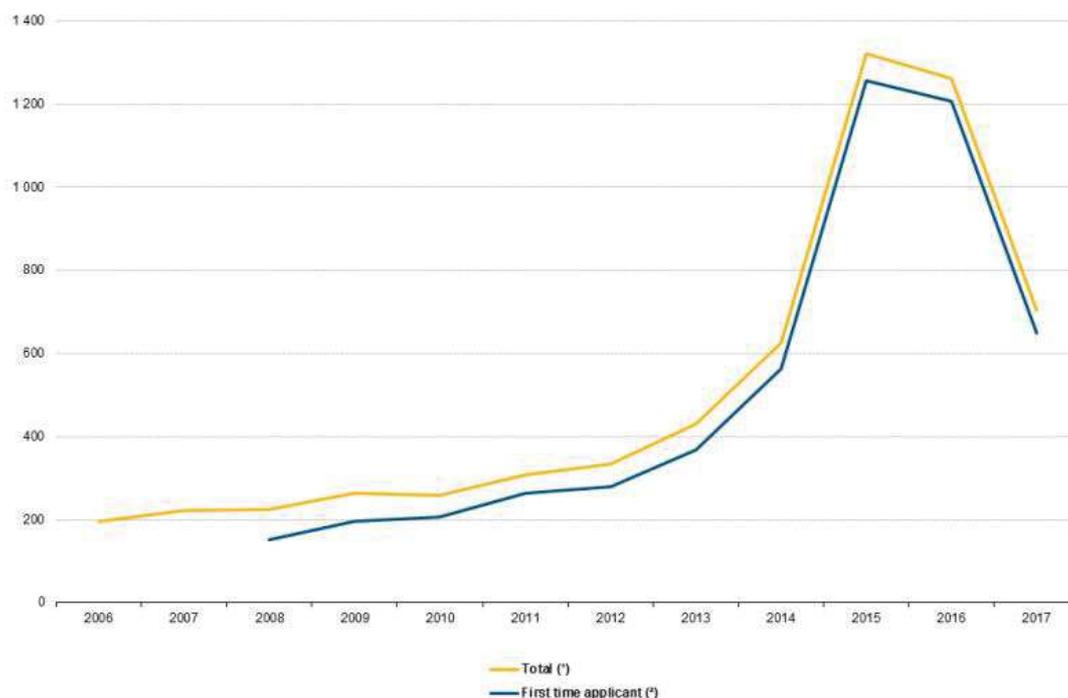
- l'examen par imagerie de la clavicule, si le développement osseux de la main est achevé.

Nous allons, dans une première partie, expliquer l'importance et la nécessité juridique de la détermination de l'âge, puis, dans une deuxième partie, développer les différentes techniques utilisées, leurs avantages et désavantages. Finalement, la troisième partie sera consacrée à une étude rétrospective sur la détermination de l'âge dentaire, réalisée sur une série de radiographies panoramiques (orthopantomogrammes, OPT) issus de l'Unité Fonctionnelle de Radiologie (UF 8609) du Pôle de Médecine et Chirurgie Bucco-dentaires des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg et discuter les résultats obtenus.

PARTIE 1 : INTERÊT JURIDIQUE DE LA DÉTERMINATION DE L'ÂGE

En 2015, plus d'un million de migrants ont passé les frontières européennes, ce qui a marqué le début d'une crise internationale (Figure 1). Beaucoup des migrants arrivent sans documents d'identité ou alors en présentent dont la validité ne peut être vérifiée. C'est une situation délicate, surtout quand il s'agit de vérifier la minorité d'un jeune migrant.

De nos jours, en Europe, l'enfant est considéré comme un être humain qui a besoin de protection et d'affection au cours de son développement. Ceci n'a pas toujours été le cas. Dans ce chapitre, nous allons rapidement aborder l'histoire des droits de l'enfant, le cas des mineurs non accompagnés et expliquer pourquoi il est important de faire la différence entre la minorité et la majorité.



(*) 2006 and 2007: EU-27 and extra-EU-27.
(*) 2006 and 2007: not available.
Source: Eurostat (online data codes: migr_asyctz and migr_asyappctza)

Figure 1 : Demandeurs d'asile dans les 28 états membres de l'Union européenne de 2006 à 2017, donnés en milliers (Eurostat).

I. Histoire des droits de l'enfant

Au Moyen-Âge, les enfants étaient vus comme des petites versions des adultes (Ariès, 1960). L'enfance à proprement parler, une période de vie différant de celle de l'adulte, mettant en avant la fragilité et la dépendance de l'enfant, n'existait pas. Dès que l'enfant était capable de vivre seul, sans la mère ou la nourrice, il était considéré comme adulte (Ariès, 1960). Le travail dès le jeune âge était courant et nécessaire pour la survie de la famille. Les parents, et plus particulièrement les pères, avaient tout le pouvoir sur les enfants et le châtement corporel était courant (Pappas, 1983 ; Hart, 1991).

Avec la révolution industrielle du 19^e siècle commence le travail dans les mines et les usines. Le travail est dur et dangereux, physiquement, comme psychologiquement pour les enfants, souvent âgés de 6 à 7 ans ou moins (Kosher *et al.*, 2016).

Se baisser, se relever pour charger et décharger le wagonnet, lui donner un coup d'épaule pour le démarrer, un coup de reins pour le retenir, le pousser, l'arrêter, qui n'était qu'un jeu en commençant, répété, continué sans relâche, devenait un travail, et avec les heures, les dernières surtout, une lassitude qu'elle n'avait jamais connue, [...], avait pesé sur elle. (Malot, 1893).

C'est à cette époque que la perception de l'enfant change. Des lois réglant le travail des enfants et le début d'une éducation universelle montrent une acceptation générale de l'idée, que l'enfant est une personne vulnérable, ayant besoin de protection et de formation (Hart, 1991 ; Kosher *et al.*, 2016).

Ce n'est qu'à l'issue de la Première Guerre Mondiale, que des droits spécifiques aux enfants ont été élaborés pour une première fois au niveau international. La Déclaration de Genève, adoptée par la Société des Nations (SDN) en 1924, reconnaît en 5 articles les besoins fondamentaux de l'enfant. Ce texte n'a aucune valeur contraignante pour les États membres.

Suite à la Seconde Guerre Mondiale, l'UNICEF (Fond des Nations Unies des secours d'urgence à l'enfance) a été créé par les Nations Unies pour venir au secours des enfants européens en détresse. À partir de 1953, leur mission devient mondiale.

Le 20 novembre 1989 l'Assemblée Générale des Nations Unies a adopté la Convention Internationale des Droits de l'Enfant (CIDE).

Le premier article de la Convention définit l'enfant comme étant « *tout être humain âgé de moins de dix-huit ans, sauf si la majorité est atteinte plus tôt en vertu de la législation qui lui est applicable* ». Les 53 articles qui suivent, décrivent les droits fondamentaux des enfants, tels que leurs droits civils, politiques, économiques, sociaux et culturels (Humanium, CIDE ; Humanium, les droits de l'enfant).

II. Le droit des enfants en France

A. Définition du mineur

L'article 388 du Code Civil français, modifié par l'article 43 de la loi n°2016-297 du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant, définit la qualité de « mineur » :

Le mineur est l'individu de l'un ou l'autre sexe qui n'a point encore l'âge de dix-huit ans accomplis.

Les examens radiologiques osseux aux fins de détermination de l'âge, en l'absence de documents d'identité valables et lorsque l'âge allégué n'est pas vraisemblable, ne peuvent être réalisés que sur décision de l'autorité judiciaire et après recueil de l'accord de l'intéressé.

Les conclusions de ces examens, qui doivent préciser la marge d'erreur, ne peuvent à elles seules permettre de déterminer si l'intéressé est mineur. Le doute profite à l'intéressé.

En cas de doute sur la minorité de l'intéressé, il ne peut être procédé à une évaluation de son âge à partir d'un examen du développement pubertaire des caractères sexuels primaires et secondaires.

Il est intéressant de souligner que la loi française prévoit la problématique de la détermination de l'âge biologique et qu'elle reconnaît la radiographie comme examen de référence, refusant l'évaluation du développement pubertaire en tant que tel. De plus, ce texte fait également mention du fait que la marge d'erreur d'estimation de l'âge doit être prise en compte ce qui illustre bien toute la problématique de détermination de l'âge des individus.

B. Le cas particulier du mineur étranger non accompagné / mineur séparé

Selon l'Agence des droits fondamentaux de l'Union Européenne (FRA, *European Union Agency for Fundamental Rights*), un mineur étranger non accompagné est une personne âgée de moins de 18 ans, apatride ou possédant un passeport non issu de l'Union européenne et qui se trouve sans adulte responsable de lui sur le territoire de l'Union européenne (Agence des droits fondamentaux de l'Union Européenne, 2010).

D'après Eurostat, 63 300 mineurs non accompagnés ont demandé asile dans un des pays membres de l'UE, en 2016. Ce chiffre a diminué d'un tiers depuis 2015, pourtant il est toujours 5 fois plus important que la moyenne annuelle entre 2008-2013. Majoritairement ces mineurs étaient masculins (89%) et âgés de 16 à 17 ans (68%). La plupart d'eux sont venus d'Afghanistan (38%) et de Syrie (19%) (Droit européen de la migration) (Figure 2). Certains mineurs sont complètement seuls, d'autres sont accompagnés par des membres de la famille ou d'autres adultes non responsables d'eux légalement. Ces derniers sont définis par le terme de mineurs séparés.

Les mineurs non accompagnés, ainsi que les mineurs séparés appartiennent à la même catégorie juridique. Selon Hernandez (2014), cette catégorie juridique comprend 3 conditions :

- la minorité d'âge,
- la condition d'étranger,
- et la potentielle situation de danger ou de délaissement liée à l'absence des parents ou responsables légaux.

Cette dernière condition est liée directement à l'article 20 de la CIDE (Humanium, CIDE) qui définit que :

Tout enfant qui est temporairement ou définitivement privé de son milieu familial, ou qui dans son propre intérêt ne peut être laissé dans ce milieu, a droit à une protection et une aide spéciale de l'État.

L'article 2 de la CIDE oblige également les États à fournir cette protection à tous les enfants qui se trouvent sous leur juridiction :

Sans distinction aucune, indépendamment de toute considération de race, de couleur, de sexe, de langue, de religion, d'opinion politique ou autre de l'enfant ou de ses parents ou représentants légaux, de leur origine nationale, ethnique ou sociale, de leur situation de fortune, de leur incapacité, de leur naissance ou de toute autre situation. (Humanium)

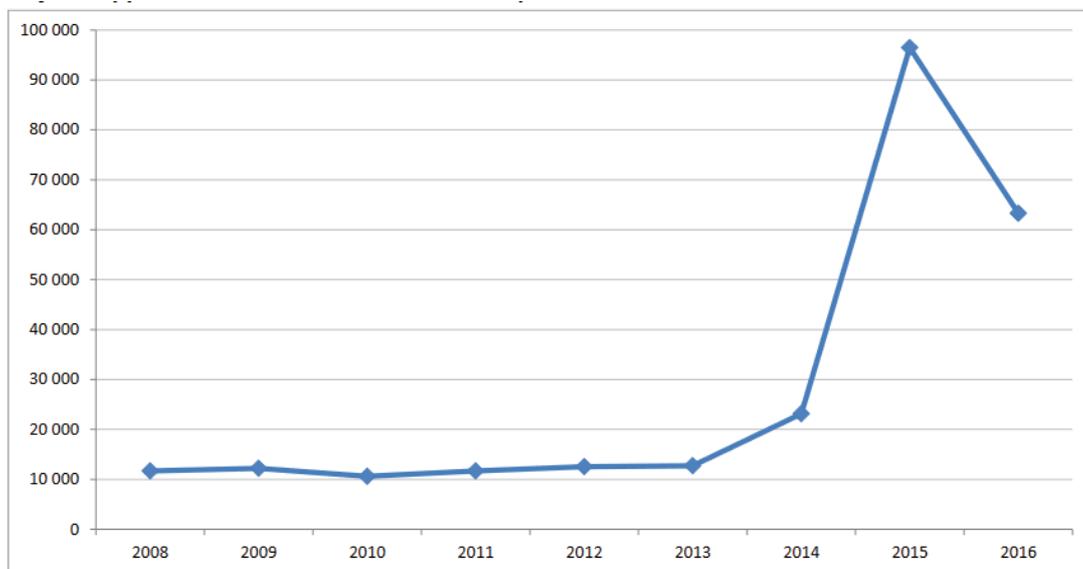


Figure 2 : Demandeurs d'asile considérés d'être comme mineurs non accompagnés dans les États membres de l'UE, de 2008 à 2016, à l'exclusion de la Croatie durant la période de 2008 à 2011, d'après Droit Européen de la Migration.

Pourquoi ces mineurs viennent dans l'Union Européenne ?

Les motifs principaux de fuir leurs pays d'origine sont des conflits armés ou guerres, la pauvreté, la famine, une catastrophe naturelle, la discrimination ou encore

la persécution. D'autres viennent pour des raisons économiques et une recherche d'une meilleure vie ou encore pour rejoindre leur famille. Enfin, il y a les victimes de la traite des êtres humains, destinées à l'exploitation sexuelle et/ou au travail forcé (Agence des droits fondamentaux de l'Union européenne, 2010).

C. Pourquoi est-il important de différencier les adultes des mineurs ?

Atteindre la majorité civile signifie recevoir des droits, comme le droit de vote ou encore la capacité juridique, ainsi que des devoirs. La personne adulte est responsable de ses actes et, au niveau pénal, peut recevoir la peine maximale, alors que les mineurs reçoivent des sanctions modérées et adaptées à leur âge. **Les catégories de sanction des mineurs en France** varient selon les différentes tranches d'âge :

- < 13 ans : Les mesures sont éducatives. L'enfant ne peut aller en prison. Des sanctions éducatives sont possibles à l'âge de 10 à 12 ans.
 - de 13 à 15 ans : Différents types de mesures et sanctions sont applicables. Le mineur peut recevoir une amende. La peine de prison ne peut excéder la moitié de la peine adulte.
 - de 16 à 18 ans : La peine adulte est divisée par 2. L'excuse de minorité peut être écartée, en cas de fait grave et la peine maximale peut être appliquée.
- (Service publique)

De plus, les adultes ont un devoir de protection et d'éducation envers les enfants. En cas de délit envers un enfant, la minorité de la victime peut être traitée comme circonstance aggravante. Dans ce contexte il existe, à côté de la majorité civile et pénale, la majorité sexuelle, atteinte elle à 15 ans. La loi définit qu'un adulte peut avoir des relations sexuelles consenties avec un mineur d'au moins 15 ans, sans encourir des sanctions pénales (Legifrance, article 227-25 du Code Pénal). Un nouveau projet de loi contre les violences sexistes et sexuelles prévoyant un âge de consentement de 13 ou 15 ans, en-dessous duquel tout acte sexuel serait considéré comme viol ou agression sexuelle, a été abandonné le 3 août 2018 (Le Monde, 9 août 2018).

PARTIE 2 : LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'ÂGE

Le concept de l'âge physiologique est basé sur le stade de maturation de différents systèmes de tissu : le tissu squelettique, les caractères sexuels et le tissu dentaire. Pour déterminer l'âge d'une personne, un ou plusieurs de ces critères peuvent être analysés (Demirjian et Levesque, 1980). Les méthodes de détermination de l'âge d'un cadavre ou squelette sont nombreuses. Elles incluent la racémisation de l'acide aspartique dans la dentine, l'analyse des anneaux du ciment dentaire, ainsi que des examens histologiques et macroscopiques des dents et os. Or, la plupart de ces techniques sont invasives et éthiquement elles ne peuvent pas être appliquées chez un individu vivant. Les approches chez le vivant sont donc plus limitées (Schmeling *et al.*, 2007).

Dans cette partie nous allons décrire les méthodes de l'estimation l'âge chez le vivant recommandées par l'AGFAD, qui sont l'examen physique, incluant l'anthropométrie (la mesure de la taille et du poids), l'évaluation des caractères sexuels primaires et secondaires, la radiographie de la main et du poignet gauches, la radiographie des dents. Lorsque le développement des os de la main est achevé, l'examen de la clavicule est conseillé (Schmeling *et al.*, 2008).

I. La puberté

La puberté est le processus physiologique des changements physiques qui transforment l'enfant en adolescent/jeune adulte. L'échelle de Tanner permet d'évaluer le degré de développement des caractères sexuels primaires et secondaires à partir d'un certain nombre de critères (Tableau 1) comportant à la fois la pilosité et le degré de développement génital des garçons et des filles. Cependant, selon l'article 388 du Code Civil français, cette méthode d'évaluation de l'âge n'étant pas jugée assez fiable, elle a été rejetée par la loi française.

Tableau 1 : Les critères d'évaluation du développement des caractères sexuels primaires et secondaires d'après Marshall et Tanner (1969 et 1970).

Pilosité des garçons et des filles ♀♂	
P 1	Préadolescence : absence de pilosité.
P 2	Quelques poils longs, légèrement pigmentés et bouclés, à la base du pénis chez les garçons et le long des grandes lèvres chez les filles.
P 3	Poils plus foncés, bouclés et épais, se propageant au-dessus de la symphyse pubienne.
P 4	Pilosité de type adulte, mais zone poilée restreinte.
P 5	Pilosité de type adulte, s'étendant vers la surface interne des cuisses.

Développement génital ♂	
G 1	Préadolescence : testicules, scrotum et pénis de taille infantile.
G 2	Augmentation de la taille du scrotum et des testicules. La peau scrotale change de couleur.
G 3	Développement du pénis, d'abord en longueur, puis en largeur. Augmentation de la taille du scrotum et des testicules continue.
G 4	Augmentation continue en taille et volume du pénis, du scrotum et des testicules. Le gland se développe et la peau scrotale se pigmente.
G 5	Organes génitaux de taille et de forme adultes.

Développement mammaire ♀	
S 1	Préadolescence. Absence de seins. Élévation des mamelons.
S 2	Bourgeon mammaire. Élévation des seins et des mamelons. Augmentation du diamètre de l'aréole.
S 3	Élargissement des seins et des aréoles, suivant les mêmes contours.
S 4	Surélévation des aréoles et mamelons, créant des protubérances.
S 5	Seins de forme et taille adulte. Aréoles suivant le contour des seins. Uniquement les mamelons se surélèvent.

II. L'âge osseux

Selon plusieurs auteurs, l'ethnicité semble jouer un rôle important dans le développement osseux. Ils conseillent d'adapter les valeurs standards, qui servent à cette analyse de l'âge osseux, aux différentes populations (Mora *et al.*, 2001 ; Zhang *et al.*, 2009). Or, selon Schmeling *et al.*, 2000, l'os se développe selon les mêmes stades dans toutes les populations. La durée et les intervalles entre ces stades ne dépendent pas de l'origine, mais du niveau socio-économique de la population, c'est-à-dire de la nutrition et des conditions environnementales de croissance. Il est donc plus intéressant d'étudier différents groupes populationnels d'un niveau socio-économique similaire, vivant dans la même région ou des populations d'un niveau socio-économique vivant dans des régions différentes.

L'âge osseux est déterminé à partir de radiographies. Les parties du corps les plus utilisées afin d'estimer cet âge sont la main et le poignet et, plus récemment, la clavicule (Kreitner *et al.*, 1997). Dans cette partie, nous allons décrire les méthodes de détermination de l'âge osseux, ainsi que les différentes techniques d'imagerie utilisées.

A. La main et le poignet

La main et le poignet sont idéals pour la détermination de l'âge osseux, car ils sont faciles à radiographier et possèdent beaucoup d'os (Figure 3). Les radiographies sont prises dans le plan antéro-postérieur, avec les doigts tendus et légèrement écartés (Alcina *et al.*, 2015). La main est en effet constituée de 19 os longs (5 métacarpiens et 14 phalanges) et 7 os courts (os du carpe). Le poignet relie l'avant-bras aux os du carpe et laisse apparaître les zones distales des deux os longs constituant l'avant-bras : le radius et l'ulna (Sato, 2015).

Une grande proportion de la population, environ 90%, étant droitère (McManus et Bryden, 1992), le risque de blessures ou de traumatisme de la main droite est plus élevé (Greulich et Pyle, 1959). De plus, selon diverses études, la différence de développement entre main gauche et main droite ne semble pas significative (Dreizen, 1957). Il a donc été admis d'utiliser la main et le poignet gauches pour la détermination de l'âge osseux.

Actuellement, la méthode d'estimation de l'âge osseux la plus utilisée est celle de **Greulich et Pyle**. Ils ont créé en 1959 un atlas de radiographies de la main et du poignet gauches, regroupées par groupes d'âge et de sexe. Les radiographies utilisées sont issues de l'étude Brush de 1931 à 1942, qui concernait des enfants âgés de 0 à 18 ans pour les filles et de 0 à 19 pour les garçons et originaires de la ville de Cleveland (Ohio) aux États Unis (Greulich et Pyle, 1959). La maturation des os a été déterminée par le degré de minéralisation des os du poignet, le développement des métacarpiens et des phalanges, ainsi que le degré de fusion des épiphyses distales des os ulna et radius (Alcina *et al.*, 2015).

Les radiographies de l'atlas servent encore actuellement de référence lors de la détermination de l'âge osseux. Lorsqu'il est nécessaire de déterminer l'âge squelettique d'un enfant, sa radiographie est comparée à la série des radiographies standard de l'atlas. L'âge attribué est celui de l'image de référence la plus proche. Si la radiographie examinée se trouve entre deux images standard, des âges intermédiaires peuvent être donnés pour tenter d'être le plus précis possible (Gilsanz et Ratib, 2005).

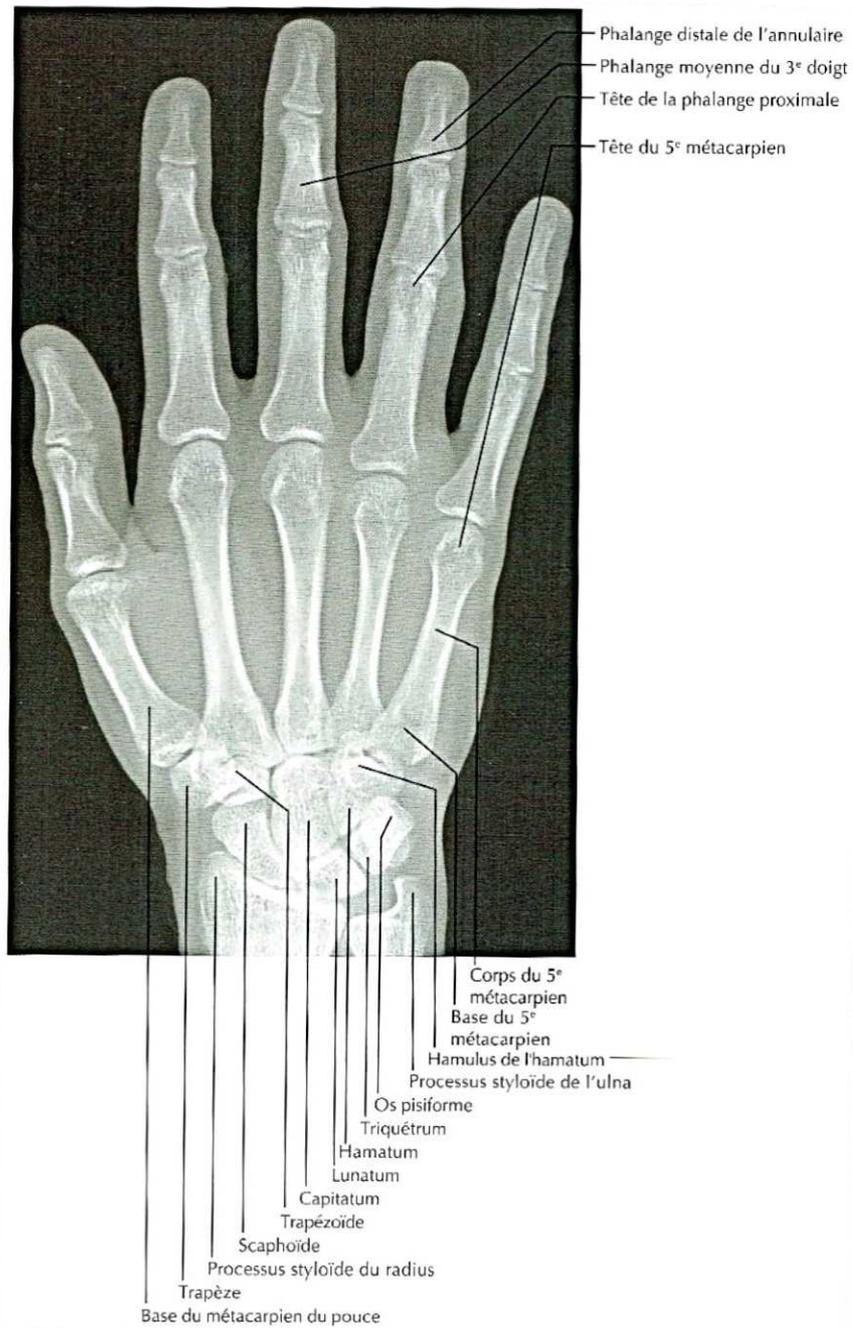


Figure 3 : Radiographie main et poignet en vue postérieure (Netter, 2011).

Cette méthode est simple à utiliser, rapide, facilement accessible, présente plusieurs sites d'ossification qui peuvent être évalués en même temps et le niveau de radiation est faible (Groell *et al.*, 1999 ; Mora *et al.*, 2001 ; Gilsanz et Ratib, 2005 ; Alcina *et al.*, 2015).

Plusieurs études ont montré que de nos jours la puberté et le développement osseux commencent plus tôt qu'il y a quelques décennies. De plus la maturation squelettique dépend de l'origine géographique de la population étudiée (Loder *et al.*, 1993 ; Ontell *et al.*, 1996 ; Tanner *et al.*, 1997 ; Euling *et al.*, 2008). Il est donc important d'adapter les données de cet atlas à la population étudiée.

Dans les années 1960 **Tanner et Whitehouse** ont introduit une méthode alternative à l'atlas de Greulich et Pyle (Tanner et Whitehouse, 1962). Celle-ci est basée sur des radiographies de la main et du poignet gauches obtenues au Royaume-Uni et a ensuite été révisée en 1975 donnant lieu à une seconde dénomination de méthode Tanner-Whitehouse 2 ou TW2 (Tanner, 1975 ; Tanner *et al.*, 1996).

La méthode Tanner-Whitehouse 2 comporte en fait 3 méthodes différentes combinées (Satoh, 2015) :

- la méthode RUS (*Radius-Ulna-Short Bones*), qui comprend l'observation du radius, de l'ulna et des os courts du 1^{er}, 3^e et 5^e doigts,
- la méthode des 7 os carpiens
- et celle des 20-os, qui évalue les 13 os de la méthode RUS, ainsi que les 7 os carpiens.

Le développement de chaque os est évalué et catégorisé selon les stades décrits par Tanner et Whitehouse. Puis chaque stade est remplacé par une valeur numérique donnée et la somme de toutes ces valeurs, le *Skeletal Maturity Score* (SMS), est calculée. Ce SMS allant de 0 à 1 000 est finalement transformé en âge osseux (Tanner *et al.*, 1996 ; Satoh, 2015). Cette méthode permet d'évaluer l'âge squelettique os par os, alors que l'atlas de Greulich et Pyle ne permet que de considérer les os dans leur ensemble, même si pas tous les os ne sont au même stade de maturation.

B. La clavicule

La clavicule (Figure 4) est un os long, situé à la partie antéro-supérieure du thorax, étendu de l'acromion au sternum et constituant la partie antérieure de la ceinture scapulaire (Rouvière, 1948).

La clavicule est le premier os à s'ossifier au cours de la 5^e et 6^e semaine *in utero*. Cette première ossification est intramembraneuse. Puis, aux extrémités sternale et acromiale de l'os, apparaissent des zones cartilagineuses de croissance, les épiphyses. Par ossification endochondrale, au cours de laquelle le cartilage est progressivement remplacé par de l'os, les épiphyses fusionnent avec le corps de la clavicule, la diaphyse (Jasuja *et al.*, 2009 ; Mackie *et al.*, 2007).

La clavicule est le dernier os à terminer son ossification (Black et Scheuer, 1996 ; Schmeling *et al.*, 2004). Ainsi, elle est particulièrement importante lors de l'estimation de l'âge des jeunes adultes, l'ossification de la main et la minéralisation des troisièmes molaires (comme nous le verrons dans la partie suivante) ayant déjà pris fin à cet âge.

En 2004, Schmeling *et al.* ont analysé plus de 873 radiographies du thorax, prises à l'Hôpital Universitaire de la Charité à Berlin, pour déterminer l'âge minimum auquel l'ossification de la clavicule est complète. Les sujets de l'étude étaient âgés entre 16 et 30 ans. Les clavicules ont été analysées selon 5 stades d'ossification (Figure 5) :

- Stade I : le centre d'ossification ne s'est pas encore ossifié
- Stade II : le centre d'ossification est ossifié, mais pas encore le cartilage de l'épiphyse
- Stade III : le cartilage de l'épiphyse s'est partiellement ossifié
- Stade IV : le cartilage de l'épiphyse s'est complètement ossifié
- Stade V : le cartilage de l'épiphyse a fusionné complètement et la ligne épiphysaire n'est plus visible

L'âge minimum auquel les sujets masculins ont atteint le stade IV était de 21 ans. Celui des sujets féminins 20 ans. Le stade V a été atteint le plus précocement à l'âge de 26 ans par les sujets masculins et féminins (Schmeling *et al.*, 2004).

De plus, selon Schulz *et al.* (2005), il n'y a pas de différence significative entre le développement des clavicules gauche et droite.

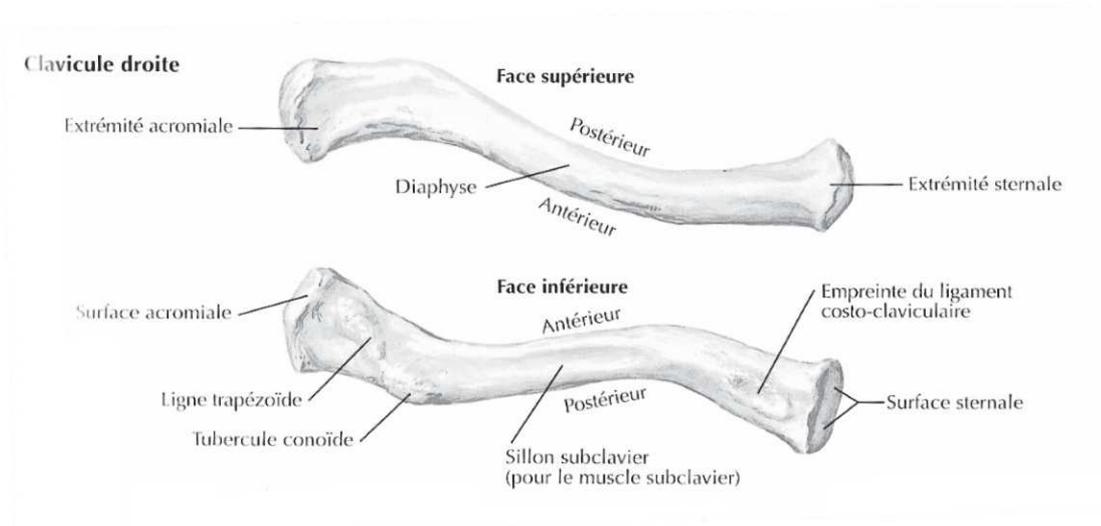


Figure 4 : Clavicule droite (Netter, 2011)

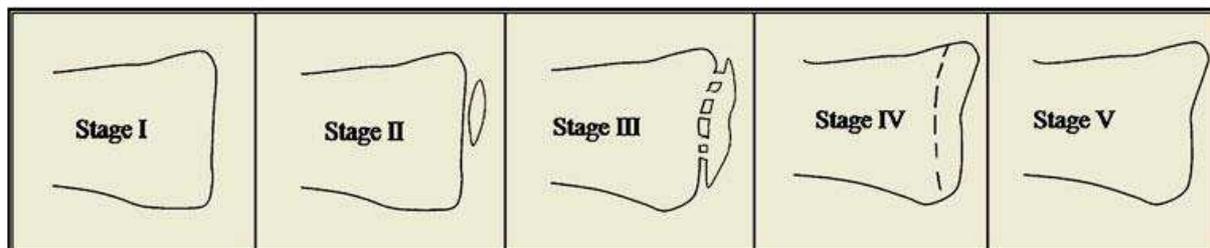


Figure 5 : Les 5 stades d'ossification de l'épiphyse de la clavicule (Hilleweg, 2010)

La **radiographie conventionnelle** de la clavicule ne se prête pas à l'estimation de l'âge osseux à cause du risque de la superposition des structures, comme les côtes, les vertèbres, le sternum et les structures pulmonaires. Ces radiographies sont usuellement prises dans le plan antéro-postérieur. Or les données de référence sur la projection oblique sont insuffisantes et celles basées sur la projection sagittale ne sont pas applicables à la projection oblique (Wittscheiber *et al.*, 2015).

La **tomodensitométrie (MultiSlice Computed Tomography, MSCT)** permet d'obtenir des images tridimensionnelles de la clavicule. L'avantage du MSCT par rapport à la radiographie conventionnelle est que les structures anatomiques ne se superposent pas (Kreitner *et al.*, 1998).

Cependant, selon Mühler, la détermination du stade de développement osseux par le CT scan dépend de l'épaisseur des coupes, ainsi que de l'expérience de l'examineur (Mühler *et al.*, 2006). À cause de l'effet volume partiel, une épaisseur faible des coupes est nécessaire pour visualiser toutes les structures anatomiques, même les plus fines, comme la ligne épiphysaire (Schulz *et al.*, 2005). Une épaisseur de coupe supérieure à 1mm peut mener à une surestimation du développement osseux (Mühler *et al.*, 2006).

Enfin, **l'imagerie par résonance magnétique (IRM)**, basée sur le principe de la résonance magnétique nucléaire, n'impose aucune exposition aux rayons X. Le grand avantage de cet examen d'imagerie par rapport au MSCT et à la radiographie conventionnelle est donc l'absence de radiations (Wittscheiber, 2015).

En fonction de la nature histologique et cellulaire et notamment du pourcentage d'eau d'un tissu, le contraste rendu sur l'image produite est plus ou moins élevé. Ainsi, l'IRM est principalement dédiée aux tissus mous, qui comportent une grande quantité d'eau et apparaissent en gris clair/noir. Les tissus osseux et cartilagineux, ne contenant pas beaucoup d'eau, sont visibles en « négatif », ils apparaissent en gris foncé / noir sur les images.

Comme décrit dans l'introduction de cette partie, les extrémités de la clavicule se développent par ossification endochondrale, lors de laquelle le cartilage épiphysaire se minéralise et est remplacé progressivement par de l'os. Les stades de cette transformation peuvent donc être analysés sur des images obtenues par IRM (Figure 6) (Schmidt *et al.*, 2007).

L'intensité du champ magnétique est mesurée en tesla (T). Il a été démontré qu'une intensité élevée permet d'avoir des meilleures images des structures musculosquelettiques (Schmitt *et al.*, 2004). Il est donc recommandé d'utiliser pour l'analyse des clavicules des appareils IRM présentant un champ de 3T plutôt que des appareils avec un champ d'intensité plus faible (Schmidt *et al.*, 2016).

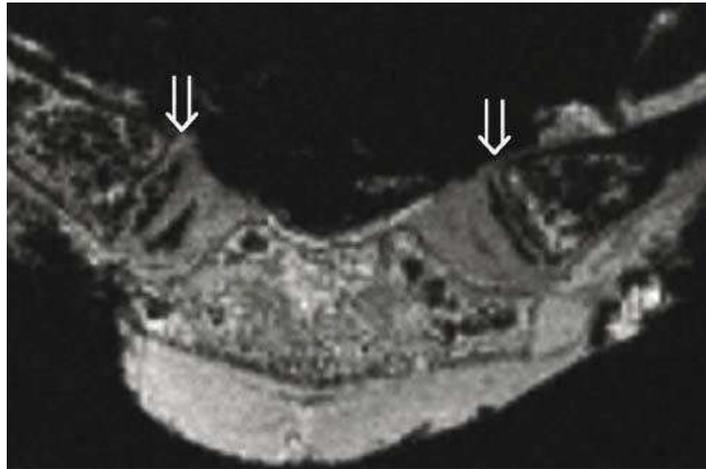


Figure 6 : IRM du stade d'ossification II de l'épiphyse médiale de la clavicule. Les flèches montrent le cartilage épiphysaire (Schmidt *et al.*, 2007).

La main et le poignet sont faciles à radiographier et présentent un grand nombre d'os. Actuellement ce sont les os les plus utilisés afin de déterminer l'âge osseux. L'atlas de Greulich et Pyle, simple d'utilisation, rapide et facilement accessible, reste la méthode la plus populaire, or les os ne peuvent être analysés séparément, même si les degrés d'ossification ne sont pas les mêmes. Tanner et Whitehouse ont élaboré une alternative, qui permet d'analyser os par os. Cette technique est moins rapide et plus difficile à appliquer.

La clavicule est le dernier os à terminer son ossification et est ainsi particulièrement intéressant à l'estimation de l'âge. À cause de la superposition de structures anatomiques comme les vertèbres, les images par radiographie conventionnelle ne permettent pas d'exploiter la clavicule correctement. Ainsi, l'imagerie tridimensionnelle par MSCT ou IRM est plus intéressante pour l'analyse de cet os long. Finalement, l'absence de radiations plaide en faveur de l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

Toutes ces méthodes sont basées sur des moyennes de maturation osseuse. Statistiquement, ces données peuvent être représentées par une courbe de Gauss, dont le sommet représente la valeur moyenne de maturation. Or, le développement osseux d'une personne peut se trouver de part et d'autre de cette moyenne et toutefois être dans les normes. Un mineur, dont la maturité osseuse est précoce à celle de la moyenne, pourrait donc à tort être traité comme majeur, ou vice versa.

III. L'âge dentaire

Le développement dentaire commence à partir de la 6^e semaine *in utero* et se termine par l'édification apicale des dents permanentes chez le jeune adulte (AlQahtani *et al.*, 2010). Les premières dents temporaires font leur éruption vers l'âge de 6 mois et les premières dents permanentes vers l'âge de 6 ans.

La calcification dentaire est un meilleur indicateur de l'âge dentaire que l'éruption, qui peut être influencée par de nombreux facteurs comme la perte prématurée des dents temporaires, un manque d'espace, la malnutrition, la carie, l'ankylose ou des anomalies orthodontiques. De plus l'éruption dentaire est un événement de très courte durée, alors que le développement dentaire se fait sur plusieurs années. Ainsi, l'étude du développement permet d'évaluer la maturité dentaire pendant les périodes où aucune éruption n'a lieu (Demirjian *et al.*, 1973, Demirjian et Levesque, 1980).

Les trois principales méthodes pour estimer l'âge dentaire sont celle de Nolla, de Demirjian et de Moorrees, Fanning et Hunt, que nous allons décrire dans cette partie.

De façon générale, pour l'étude des stades d'âge dentaire, plusieurs études ont montré que l'analyse des dents d'un seul côté suffit, la différence de développement entre les dents des deux côtés n'étant pas significative (Demirjian *et al.*, 1973 ; S. Karkhanis *et al.*, 2015).

A. La méthode de Nolla

En 1960, Carmen M. Nolla, professeur adjoint à la faculté de chirurgie dentaire du Michigan de 1952-1957, a publié une étude sur la détermination de l'âge dentaire (Nolla, 1960). Depuis, la méthode de Nolla est une des méthodes les plus utilisées mondialement. Dans cette étude, Nolla a analysé une série de radiographies extra et intra orales, issues du suivi annuel de 25 filles et 25 garçons. Au total, 1 746 radiographies pour les filles et 1 656 pour les garçons ont été incluses dans son étude. Le développement de chacune des dents maxillaires et mandibulaires a été évalué selon 10 stades visibles radiologiquement (Tableau 2).

À chaque dent a été attribué un score de 1 à 10, suivant son stade de développement. Dans les cas où la maturation de la dent correspond exactement à un

de ces stades, la valeur du stade lui est attribuée. Si la dent se trouve entre deux stades les valeurs de 0.2, 0.5 et 0.7 ont été rajoutées, par exemple, une dent se trouve entre les stades 6 et 7, mais plus proche de 6, elle est notée par 6.2. Le développement des dents du côté gauche étant quasiment identique à celui des dents du côté droit, une seule valeur a été retenue par paire de dents. Pour chaque sujet, la maturation de chaque dent est représentée dans des graphiques respectifs des dents mandibulaires et maxillaires avec les stades de maturation sur l'axe vertical et l'âge chronologique sur l'axe horizontal. Les courbes obtenues indiquent alors le développement de chaque dent. La moyenne des courbes respectives de chaque sexe donne les normes de maturation dentaire des filles et des garçons.

Ces normes sont présentées par 2 tableaux pour chaque sexe, le premier incluant les troisièmes molaires et le deuxième excluant les troisièmes molaires (Tableaux 3 et 4). Ces tableaux vont nous servir de référence dans la partie étude.

Le graphique reproduit à la figure 7 regroupe toutes les données obtenues pour les deux sexes sous forme de deux courbes. L'âge dentaire est représenté sur l'axe horizontal et les stades de maturation sur l'axe vertical. Cette représentation permet de bien visualiser que développement suit le même modèle pour les filles que pour les garçons, mais est légèrement décalé dans le temps avec une avance pour les filles. Le développement dentaire est linéaire, jusqu'à ce qu'il atteigne un palier vers l'âge de 12 ans, ce qui correspond à l'éruption des deuxièmes molaires.

Tableau 2 : Les 10 stades de Nolla - Développement de chacune des dents maxillaires et mandibulaires selon les stades visibles radiologiquement (Nolla, 1960).

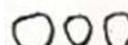
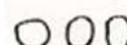
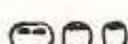
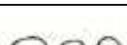
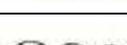
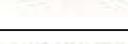
Stades	Description	Schémas	
		Mandibule	Maxillaire
0	Absence de crypte		
1	Présence de crypte		
2	Calcification initiale		
3	Minéralisation d'un tiers de la couronne		
4	Minéralisation de 2 tiers de la couronne		
5	Formation de la couronne presque complète		
6	Formation de la couronne complète		
7	Formation d'un tiers de la racine		
8	Formation de 2 tiers de la racine		
9	Formation de la racine presque complète avec apex ouverts		
10	Formation radiculaire complète avec apex fermés		

Tableau 3 : Normes en fonction de l'âge pour les dents maxillaires et mandibulaires chez les individus de sexe féminin, troisièmes molaires exclues (Nolla, 1960).

<i>Age in Years</i>	<i>Sum of Stages for 7 Mandibular Teeth</i>	<i>Sum of Stages for 7 Maxillary Teeth</i>	<i>Sum of Stages for 14 Maxillary and Mandibular Teeth</i>
3	24.5	22.2	46.8
4	32.7	29.6	62.3
5	40.1	37.9	78.0
6	46.6	43.4	90.0
7	52.4	49.5	101.9
8	57.4	54.9	112.3
9	58.4	59.6	118.0
10	64.3	63.4	127.7
11	66.3	64.0	130.3
12	67.9	67.8	135.7
13	68.9	69.2	138.1
14	69.4	69.7	139.1
15	69.8	69.8	139.6
16	70.0	70.0	140.0
17	70.0	70.0	140.0

Tableau 4 : Normes en fonction de l'âge pour les dents maxillaires et mandibulaires chez les individus de sexe féminin, troisièmes molaires incluses (Nolla, 1960).

<i>Age in Years</i>	<i>Sum of Stages for 8 Mandibular Teeth</i>	<i>Sum of Stages for 8 Maxillary Teeth</i>	<i>Sum of 16 Maxillary and Mandibular Teeth</i>
7	54.2	49.5	103.7
8	59.5	57.0	116.5
9	66.7	62.0	122.7
10	67.5	66.6	134.1
11	70.0	68.3	138.3
12	72.6	73.2	145.7
13	74.7	75.4	150.1
14	75.9	76.5	152.4
15	76.7	77.1	153.8
16	77.5	78.0	155.5
17	78.0	78.7	156.7

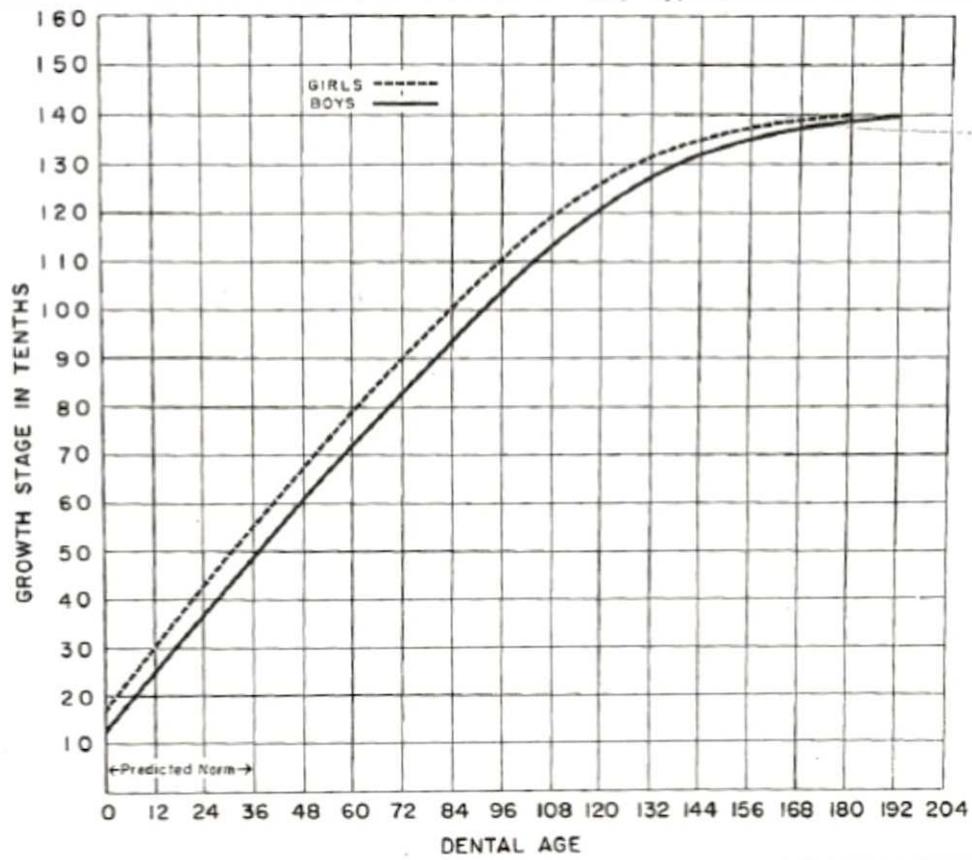


Figure 7 : Normes de croissance des dents maxillaires et mandibulaires des filles (en pointillé) et des garçons (en ligne continue), troisièmes molaires exclues. (Nolla, 1960)

B. La méthode de Moorrees, Fanning et Hunt

L'objectif de Moorrees, Fanning et Hunt était de trouver des normes de développement de 10 dents permanentes, plus précisément des incisives maxillaires et des 8 dents mandibulaires (Moorrees *et al.*, 1963). Le développement de ces 10 dents est évalué selon les stades expliqués dans le tableau 5.

Un échantillon de radiographies intra-buccales de 48 garçons et de 51 filles, prises à Boston (Massachusetts, USA) a servi à l'analyse des incisives maxillaires et mandibulaires. L'étude des dents postérieures mandibulaires (de la canine à la 3^{ème} molaire) a été réalisée avec des radiographies issues de l'institut de recherche de Yellow Springs (Ohio, USA). Chaque dent a été évaluée selon les stades définis dans le tableau 5. Puis les auteurs ont calculé les pourcentages des enfants ayant atteint ou dépassé un certain stade à un certain âge. Ceux-ci ont été convertis en écart-types en se basant sur la surface sous la courbe normale.

Des graphiques permettent de visualiser les valeurs standard du développement de chaque dent avec des barres horizontales représentant les différents stades de maturation et indiquant les écart-types et l'âge moyen auquel est atteint le stade en question (Figure 8).

Ils ont ainsi montré que la calcification coronaire commence après la naissance pour les dents permanentes mandibulaires, à part pour la première molaire, qui peut débuter sa formation *in utero* (Tableau 6). Vers l'âge de 6 à 6 ½ ans la formation coronaire des 2^{èmes} molaires et 2^{èmes} prémolaires s'achève. Toutes les autres dents, à part les 3^{èmes} molaires ont atteint ce stade plus tôt (Tableau 7). À l'âge de 12 ans, toutes les dents ont atteint la longueur radiculaire définitive et les 3^{èmes} molaires terminent la formation de leur couronne. Il est intéressant de noter que la racine distale des molaires finit l'édification radiculaire 0,2 – 0,3 ans après la racine mésiale (Tableau 8). L'étude ne donne pas de données pour les incisives mandibulaires.

Selon cette étude, il semble exister un dimorphisme sexuel quant à la durée de formation radiculaire des canines, prémolaires et incisives latérales maxillaires. Elles se forment plus rapidement chez les filles que chez les garçons. Par contre la formation coronaire semble de durée égale dans les 2 sexes.

Selon Moorrees *et al.*, 1963, l'estimation du développement dentaire est également influencée par plusieurs facteurs : la population étudiée, l'expérience de l'examineur ou encore, la présence ou non de données sur le développement

ultérieur ou postérieur de l'enfant, servant de bases de données. De plus, il est possible que les dents d'un individu ne se développent pas toutes selon le même rythme et que le temps nécessaire de passer d'un stade à l'autre varie.

Tableau 5 : Stades de développement des dents monoradiculées et pluriradiculées d'après Moorrees *et al.* (1963).

Stade	Symbole	Dents monoradiculées	Dents pluriradiculées
Formation initiale des cuspides	C _i		
Fusion des cuspides	C _{co}		
Formation complète de la bordure externe des cuspides	C _{oc}		
1/2 de la couronne	Cr. _{1/2}		
3/4 de la couronne	Cr. _{3/4}		
Formation coronaire achevée	Cr. _c		
Formation initiale de la racine	R _i		
Formation initiale de la fente pulpaire	Cl. _i	—	
1/4 de la longueur radiculaire	R _{1/4}		
1/2 de la longueur radiculaire	R _{1/2}		
3/4 de la longueur radiculaire	R _{3/4}		
Longueur radiculaire définitive	R _c		
Apex à moitié fermé	A _{1/2}		
Apex fermé	A _c		

Tableau 6 : Chronologie du début de calcification (Moorrees *et al.*, 1963)

Chronologie du début de calcification	
Dent	Âge moyen
canine	6 mois
1 ^{ère} prémolaire	1,8 ans
2 ^e prémolaire	3 ans
2 ^e molaire	3,5 ans
3 ^e molaire	9,5 ans

Tableau 7 : La durée de la formation coronaire (Moorrees *et al.*, 1963)

Durée de formation coronaire	
Dent	Durée moyenne
1 ^{ère} molaire	2,1 ans
2 ^e et 3 ^e molaires	2,8 ans
prémolaires	3,1 – 3,4 ans
canine	3,5 ans

Tableau 8 : La durée de la formation radiculaire (Moorrees *et al.*, 1963)

Durée de formation radiculaire	
Dent	Durée moyenne
incisive centrale maxillaire	3,3 ans
1 ^{ère} molaire (racine mésiale)	3,6 ans
2 ^e molaire (racine mésiale)	4,8 ans
3 ^e molaire (racine mésiale)	4,5 ans
♀	
incisive latérale maxillaire	3,4 ans
canine + prémolaires	4,6 – 4,9 ans
♂	
incisive latérale maxillaire	4 ans
prémolaires	5,3 – 5,4 ans
canine	6,2 ans

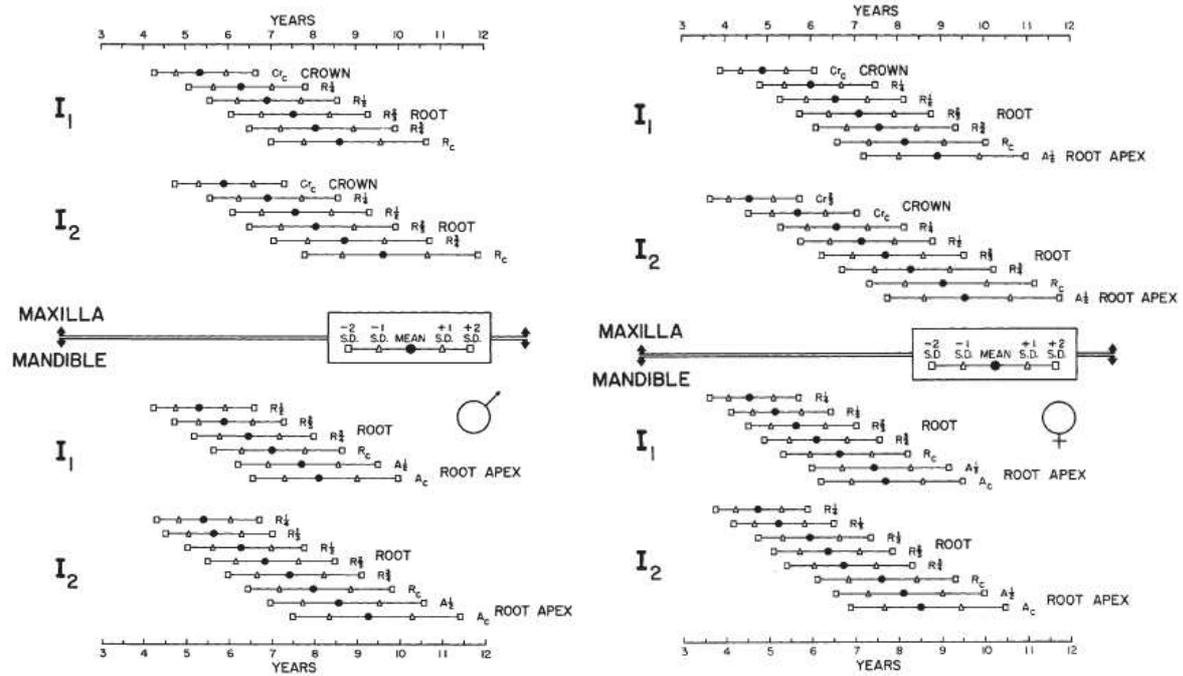


Figure 8: Valeurs standard du développement coronaire et radriculaire des incisives maxillaires et mandibulaires des garçons et des filles. Chaque stade est visualisé sous forme de barre horizontale, sur laquelle sont indiqués l'âge moyen et les écart types (Moorrees *et al.*, 1963).

L'**Atlas de Londres**, développé en 2010 par AlQahtani, Hector et Liversidge, est basé sur le système de notation de Moorrees ainsi que sur les stades d'éruption de Bengston et a été créé afin de faciliter l'estimation de l'âge dentaire (Moorrees *et al.*, 1963 ; AlQahtani *et al.*, 2010).

Dans une première partie, le développement des dents du côté droit est évalué sur des OPT selon les stades de Moorrees dont les trois derniers ont été légèrement modifiés par les auteurs. La modification concerne les bords dentinaires au bout de la racine, la largeur de l'apex et l'épaisseur de l'espace du ligament alvéolo-dentaire. L'édification apicale est divisée en trois : la longueur radiculaire définitive (Rc) est atteinte lorsque les bords dentinaires sont parallèles avec un apex ouvert et un espace desmodontal épais, puis l'apex se ferme, mais l'espace desmodontal est toujours épais (A1/2) et finalement la formation radiculaire se termine par une fermeture complète de l'apex et un espace desmodontal d'épaisseur normale (Ac).

Dans une deuxième partie, les stades d'éruption en fonction du niveau osseux couvrant les dents sont analysés selon la méthode modifiée de Bengston (Bengston, 1935). La médiane de chaque stade et de chaque dent est déterminée et est représentée schématiquement par un dessin (Tableaux 9 et 10).

Finalement, toutes les données sont regroupées dans des diagrammes (Figure 9). Chaque diagramme correspond à un âge chronologique médian et montre les stades de développement et d'éruption de toutes les dents primaires et mandibulaires présentes à ce moment. Les troisièmes molaires sont représentées à part, à partir de l'âge de 16 ans, les autres dents ayant atteint la maturité vers l'âge de 15 ans.

Ici aussi, le dimorphisme sexuel est mis en évidence. Le développement dentaire chez les filles est plus avancé que chez les garçons, surtout à l'âge de 6 à 14 ans, mais le développement des troisièmes molaires est plus avancé chez les garçons. Cependant, étant donné que la différence n'excédait en général pas plus qu'un stade et ne concernait pas toutes les dents ensemble, les auteurs ont choisi de regrouper les 2 sexes.

Tableau 9 : Les stades de développement des dents permanentes monoradiculées et pluriradiculées (AIQahtani *et al.*, 2010).

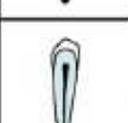
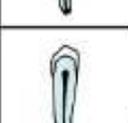
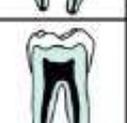
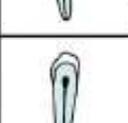
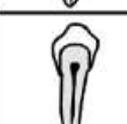
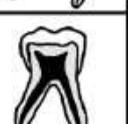
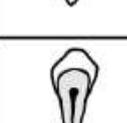
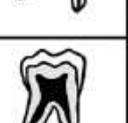
	ci: initial cusp formation		Ri: initial root formation with diverge edges		ci: initial cusp formation		
	Co0: Coalescence of cusps		R 1/4: root length less than crown length		Co0: Coalescence of cusps		R 1/4: root length less than crown length with visible bifurcatio area
	Co1: Cusp outline complete		R 1/2: root length equals crown length		Co1: Cusp outline complete		R 1/2: root length equals crown length
	Cr 1/2: crown half completed with dentine formation		R 3/4: three quarters of root length developed with diverge ends		Cr 1/2: crown half completed with dentine formation		R 3/4: three quarters of root length developed with diverge ends
	Cr 3/4: crown three quarters completed		Rc: root length completed with parallel ends		Cr 3/4: crown three quarters completed		Rc: root length completed with parallel ends
	Cr1: crown completed with defined pulp roof		A 1/2: apex closed (root ends converge) with wide PDL		Cr1: crown completed with defined pulp roof		A 1/2: apex closed (root ends converge) with wide PDL
			A1: apex closed with normal PDL width		Ri: initial root formation with diverge edges		A1: apex closed with normal PDL width

Tableau 10 : Les stades de résorption des dents de lait et les positions des dents permanentes lors de l'éruption. - d'après AIQahtani *et al.*, 2010.

	Ac: apex closed with normal PDL width		position 1: when the occlusal or incisal surface is covered entirely by bone	
	Res 1/4: resorption of apical quarter of the root		position 2: when the occlusal or incisal surface breaks through the crest of the alveolar bone	
	Res 1/2: resorption of half the root		position 3: when the occlusal or incisal surface is midway between the alveolar bone and the occlusal plane	
	Res 3/4: resorption of three quarters of the root		position 4: occlusal or incisal surface is in the occlusal plane	

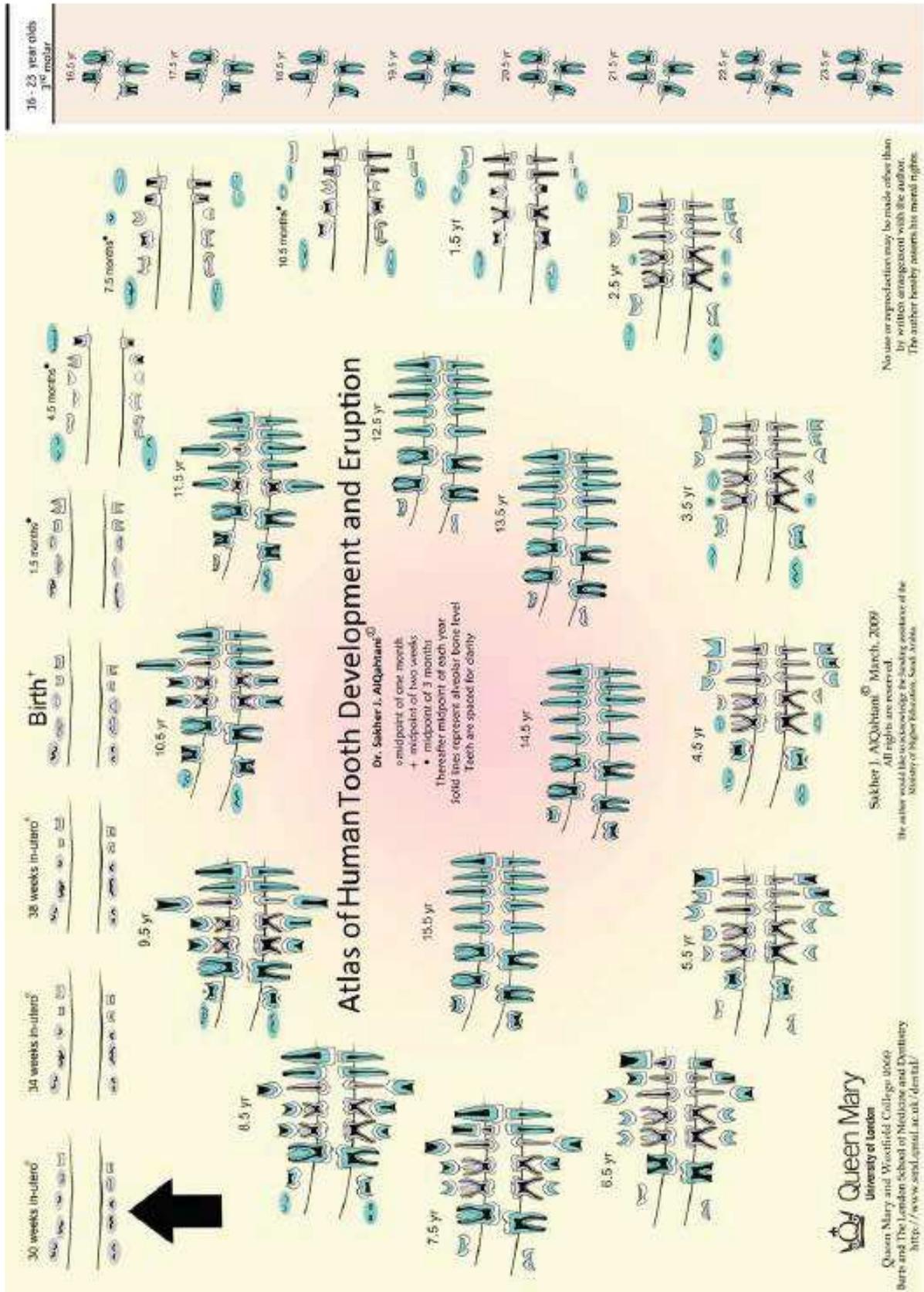


Figure 9 : Atlas de Londres : schéma chronologique illustrant le développement et l'éruption des dents (AlQahtani et al., 2010)

C. La méthode de Demirjian

Demirjian, Goldstein et Tanner ont analysé les OPT de 1446 garçons et 1482 filles, âgés de 2 à 20 ans, à l'hôpital Sainte-Justine, Montréal. Ils ont défini 8 stades de développement dentaire (de A à H), avec le stade 0 correspondant à la non-apparence (Tableau 10). À chacune des 7 dents mandibulaires du côté gauche, excluant la troisième molaire, est attribué le stade de maturation correspondant. La comparaison de l'âge dentaire calculé avec les 14 dents mandibulaires à l'âge calculé avec 7 dents mandibulaires leur a permis de démontrer que la différence n'est pas significative et par conséquent, l'analyse de 7 dents est donc suffisante.

Ces stades sont alors convertis en valeurs numériques (Tableau 11). L'addition de ces valeurs permet de calculer le score de maturité totale, qui transformée selon des tables standards donne l'âge dentaire (Tableau 12). Ces tables standards diffèrent selon le sexe (Demirjian *et al.*, 1973). Ici aussi, le développement dentaire est plus précoce chez les filles que chez les garçons. Plus précisément, lors des premiers stades « A », « B » et « C », aucune différence significative n'a été révélée entre les 2 sexes. Ce n'est qu'à partir du stade « D », qui représente la fin de la formation coronaire, que les filles prennent de l'avance dans le développement dentaire. Ceci explique pourquoi les deux sexes devraient, selon eux, être évalués séparément (Demirjian *et al.*, 1973 ; Demirjian *et al.*, 1980).

Les auteurs concluent que la conversion des stades de maturation en valeurs numériques (Tableau 12) ne diffère pas d'une population à l'autre. Or, ils conseillent d'adapter les valeurs standards, qui permettent de convertir le score de maturité totale en âge dentaire (Tableau 13), à la population en question (Demirjian *et al.*, 1973).

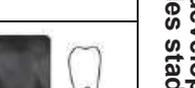
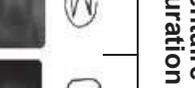
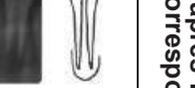
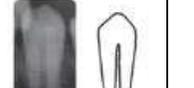
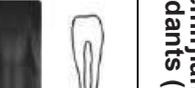
Stade	Développement dentaire	Molaires	Prémolaires	Canines	Incisives
A	Début de calcification des cuspidés, sous forme de cône(s) inversé(s), des dents monoradiculées et biradiculées. Absence de fusion de ces points calcifiés.				
B	Fusion des points calcifiés en cuspide(s) dessinant une surface occlusale bien délimitée.				
C	La formation de l'émail occlusale est achevée, son extension vers la région cervicale est observée. Début de dépôt dentinaire et apparition de contours courbes de la chambre pulpaire.				
D	Formation coronaire achevée jusqu'à la jonction amélocémentaire. La limite supérieure de la chambre pulpaire des dents monoradiculées présente une forme courbe, cervicalement concave. La chambre pulpaire des molaires a une forme trapézoïdale. Début de la formation radiculaire sous forme de spicule.				
E	<u>Dents monoradiculées</u> : Les parois de la chambre pulpaire forment des lignes droites dont la continuité est interrompue par la corne pulpaire, qui est plus large que précédemment. La longueur de la racine est inférieure à la hauteur de la couronne. <u>Dents pluriradiculées</u> : La furcation radiculaire apparaît sous forme de demi-lune. La longueur radiculaire est inférieure à la hauteur coronaire.				
F	<u>Dents monoradiculées</u> : Les parois de la chambre pulpaire forment un triangle isocèle. L'apex finit en forme d'entonnoir. La longueur radiculaire est égale ou supérieure à la hauteur coronaire. <u>Dents pluriradiculées</u> : La partie calcifiée de la furcation s'est développée pour former les racines et donner à leurs apex une forme d'entonnoir. La longueur radiculaire est égale ou supérieure à la hauteur coronaire.				
G	Les parois pulpaire sont parallèles et l'apex est toujours partiellement ouvert (racine distale des molaires).				
H	L'apex est complètement fermé (racine distale des molaires) et l'épaisseur de la membrane parodontale autour de l'apex est uniforme.				

Tableau 11 : Les 8 stades de développement dentaire d'après Demirjian et al. (1973) associés aux radiographies et dessins de développement dentaire correspondants (Liversidge, 2012).

Tableau 12 : Table de conversion des stades de maturation dentaire de Demirjian en valeurs numériques (Demirjian *et al.*, 1973).

Boys									
Tooth	Stage								
	0	A	B	C	D	E	F	G	H
M ₂	0.0	2.1	3.5	5.9	10.1	12.5	13.2	13.6	15.4
M ₁				0.0	8.0	9.6	12.3	17.0	19.3
PM ₂	0.0	1.7	3.1	5.4	9.7	12.0	12.8	13.2	14.4
PM ₁			0.0	3.4	7.0	11.0	12.3	12.7	13.5
C				0.0	3.5	7.9	10.0	11.0	11.9
I ₂				0.0	3.2	5.2	7.8	11.7	13.7
I ₁					0.0	1.9	4.1	8.2	11.8

Girls									
Tooth	Stage								
	0	A	B	C	D	E	F	G	H
M ₂	0.0	2.7	3.9	6.9	11.1	13.5	14.2	14.5	15.6
M ₁				0.0	4.5	6.2	9.0	14.0	16.2
PM ₂	0.0	1.8	3.4	6.5	10.6	12.7	13.5	13.8	14.6
PM ₁			0.0	3.7	7.5	11.8	13.1	13.4	14.1
C				0.0	3.8	7.3	10.3	11.6	12.4
I ₂				0.0	3.2	5.6	8.0	12.2	14.2
I ₁					0.0	2.4	5.1	9.3	12.9

NB: Stage 0 is no calcification

Tableau 13 : Table de conversion du score de maturité en âge dentaire (Demirjian *et al.*, 1973).

Age	Score	Age	Score	Age	Score	Age	Score
Boys							
3.0	12.4	7.0	46.7	11.0	92.0	15.0	97.6
.1	12.9	.1	48.3	.1	92.2	.1	97.7
.2	13.5	.2	50.0	.2	92.5	.2	97.8
.3	14.0	.3	52.0	.3	92.7	.3	97.8
.4	14.5	.4	54.3	.4	92.9	.4	97.9
.5	15.0	.5	56.8	.5	93.1	.5	98.0
.6	15.6	.6	59.6	.6	93.3	.6	98.1
.7	16.2	.7	62.5	.7	93.5	.7	98.2
.8	17.0	.8	66.0	.8	93.7	.8	98.2
.9	17.6	.9	69.0	.9	93.9	.9	98.3
4.0	18.2	8.0	71.6	12.0	94.0	16.0	98.4
.1	18.9	.1	73.5	.1	94.2		
.2	19.7	.2	75.1	.2	94.4		
.3	20.4	.3	76.4	.3	94.5		
.4	21.0	.4	77.7	.4	94.6		
.5	21.7	.5	79.0	.5	94.8		
.6	22.4	.6	80.2	.6	95.0		
.7	23.1	.7	81.2	.7	95.1		
.8	23.8	.8	82.0	.8	95.2		
.9	24.6	.9	82.8	.9	95.4		
5.0	25.4	9.0	83.6	13.0	95.6		
.1	26.2	.1	84.3	.1	95.7		
.2	27.0	.2	85.0	.2	95.8		
.3	27.8	.3	85.6	.3	95.9		
.4	28.6	.4	86.2	.4	96.0		
.5	29.5	.5	86.7	.5	96.1		
.6	30.3	.6	87.2	.6	96.2		
.7	31.1	.7	87.7	.7	96.3		
.8	31.8	.8	88.2	.8	96.4		
.9	32.6	.9	88.6	.9	96.5		
6.0	33.6	10.0	89.0	14.0	96.6		
.1	34.7	.1	89.3	.1	96.7		
.2	35.8	.2	89.7	.2	96.8		
.3	36.9	.3	90.0	.3	96.9		
.4	38.0	.4	90.3	.4	97.0		
.5	39.2	.5	90.6	.5	97.1		
.6	40.6	.6	91.0	.6	97.2		
.7	42.0	.7	91.3	.7	97.3		
.8	43.6	.8	91.6	.8	97.4		
.9	45.1	.9	91.8	.9	97.5		

PARTIE 3 : ÉTUDE

I. Objectif

L'objectif de cette étude a été de vérifier l'exactitude de la détermination de l'âge biologique des enfants et adolescents par le biais de l'âge dentaire en comparant les résultats obtenus par les 3 méthodes les plus connues que sont les méthodes de Nolla (Nolla, 1960), Demirjian (Demirjian *et al.*, 1973) et l'Atlas de Londres (AlQahtani *et al.*, 2010).

II. Patients, matériel et méthodes

A. Série étudiée

Cette étude rétrospective a été réalisée à partir d'une série de patients ayant tous été suivis au sein du Pôle de Médecine et de Chirurgie Bucco-dentaires des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg sur une période allant de janvier à septembre 2018 et ayant bénéficié d'un orthopantomogramme. Cette série comprenait au total 324 individus âgés de 4 à 20 ans (156 individus de sexe masculin et 168 individus de sexe féminin).

B. Examens radiographiques

Les orthopantomogrammes ont tous été réalisés avec le même appareil (Promax Digital Panoramic, Planmeca) selon le même protocole (plan d'occlusion horizontal, plan sagittal médian vertical, plan sagittal latéral passant par la canine maxillaire, appui mentonnier). Seuls les clichés radiographiques présentant les critères d'inclusion suivants ont été retenus : branches mandibulaires droite et gauche de même largeur, horizontalité ou légère concavité du plan d'occlusion, netteté de l'image et visualisation des régions apicales dentaires. Les patients présentant des signes d'infections péri-apicales et des traitements endodontiques ont été exclus de l'étude.

Les constantes radiologiques utilisées ont été les suivantes : 62 à 66 kV, 5 à 8 mA, 13 à 15 s (sujets de 5 à 10 ans) ; 64 à 68 kV, 7 à 14 mA, 15 s (sujets de 11 à 15 ans) ; 66 à 70 kV, 7 à 11 mA, 15 s (sujets de 16 à 20 ans).

Les clichés ont été sélectionnés par un sénior de l'unité fonctionnelle selon les critères énoncés plus haut puis anonymisés et enregistrés de façon à ce que les âges réels ne soient pas apparents lors de l'analyse des clichés.

C. Méthodes d'analyse

Trois méthodes principales de détermination de l'âge dentaire ont été comparées. Il s'agissait des méthodes de Nolla (Nolla, 1960), Demirjian (Demirjian *et al.*, 1973) et de l'atlas de Londres (AlQahtani *et al.*, 2010). Pour chaque OPT, l'examineur ignorait l'âge réel des sujets et a appliqué consécutivement les 3 méthodes de détermination de l'âge dentaire.

La première méthode utilisée était celle de **Nolla** (Nolla, 1960). Le développement des dents mandibulaires gauches a été évalué selon 10 stades de maturation (stade 1 à 10). Si une dent se trouvait entre 2 stades, la valeur de 0,5 a été rajoutée. Puis, ces valeurs ont été additionnées. Finalement cette somme a été comparée aux valeurs standards données selon le sexe et la présence ou non de dents de sagesse et l'âge dentaire a été déterminé. Lorsque cette somme se trouvait entre deux valeurs standards, une demi année a été rajoutée à l'âge.

La deuxième méthode, celle de **Demirjian** (Demirjian *et al.*, 1973) définit 8 stades de développement dentaire, de A à H. À chacune des 8 dents mandibulaires du côté gauche a été attribué le stade de maturation correspondant. Ces stades ont alors été convertis en valeurs numériques. Des tables standards attribuent à chaque score de maturité totale un âge dentaire donné (Demirjian *et al.*, 1973). Si le score se trouvait exactement au milieu de deux scores, la valeur moyenne de l'âge a été retenue. Cette méthode exclu les troisièmes molaires et ne présente des données que jusqu'à l'âge de 16 ans. La méthode de Olze (Olze *et al.*, 2003) a alors été appliquée pour les individus dont l'âge estimé avec la méthode de Demirjian était supérieur à 16 ans. Le développement de la 38 a tout d'abord été évalué selon les stades de Demirjian puis, à l'aide d'un tableau donné par Olze, l'âge dentaire correspondant à ce stade a été déterminé. En cas d'absence de la 38, la 48 a été analysée.

Enfin, les OPT ont été comparés aux schémas dentaires de l'**Atlas de Londres** (AlQahtani *et al.*, 2010). Ces schémas représentent l'âge dentaire de 30 semaines *in utero* à 23,5 ans et sont basés sur les stades de développement de Moorrees, Fanning

et Hunt (Moorrees *et al.*, 1963) et les stades d'éruption de Bengston (Bengston, 1935). Les sexes ne sont pas différenciés. Si le développement se trouvait entre 2 schémas, la valeur moyenne de l'âge a été retenue.

Un exemple d'analyse d'OPT est donné dans le tableau 14.

Tableau 14 : Exemple d'analyse d'un OPT par les méthodes de Nolla, de Demirjian, de Olze et de l'atlas de Londres.

								
Sexe: Masculin Âge réel: 5 ans								
Méthode de Nolla								
Dents :	31	32	33	34	35	36	37	38
Stades :	7	7	6	5	4	7	5	/
Score total :	36							
Âge dentaire :	5 ans							
Méthode de Demirjian								
Dents :	31	32	33	34	35	36	37	
Stades :	F	E	E	D	C	F	D	
Valeurs numériques :	4,1	5,2	7,9	7	5,4	12,3	10,1	
Total :	52							
Âge dentaire :	7,3 ans							
Méthode d'Olze								
Dent :	/							
Stade :	/							
Âge dentaire :	/							
Atlas de Londres								
Âge dentaire :	5 ans							

D. Traitement statistique

Le traitement statistique des données a été effectué par le Docteur Gabriel Fernandez de Grado (Sous section 5602- Prévention, Épidémiologie, Économie de la santé, Odontologie légale) et réalisé à partir du logiciel Excel (Microsoft, Redmond, USA).

Les écarts (en valeur absolue) entre l'âge réel et l'âge observé ont été calculés respectivement pour chaque méthode. La normalité de répartition a été évaluée à partir d'un test de Skewness-Kurtosis pour chacune des variables ainsi obtenues. L'adéquation de chaque distribution avec une loi normale ayant été démontrée, un test paramétrique de Student (t-Test) pour échantillons appariés a été systématiquement utilisé pour les comparaisons entre chaque méthode de l'écart moyen entre âge observé et âge réel.

III. Résultats

Les statistiques descriptives de l'échantillon (effectif par classe d'âge) et les moyennes des écarts (en valeur absolue) entre l'âge observé et l'âge réel sont présentés dans le tableau 15. La significativité des comparaisons des méthodes entre elles, au moyen des tests de Student, est donnée dans la série de tableaux intitulée « Tableau 16 ».

Ces comparaisons mettent en évidence que les méthodes de Nolla et de l'Atlas de Londres sont nettement plus efficaces que la méthode de Demirjian et Olze, avec des écarts par rapport à l'âge réel systématiquement inférieurs (Figure 10). En effet, les différences entre les estimations données par les méthodes de Nolla et de l'Atlas de Londres ne sont statistiquement pas ou peu différentes quel que soit le groupe d'âge. Ces deux méthodes donnent systématiquement l'écart le plus faible par rapport à l'âge réel et sont très significativement différentes des autres méthodes qui sont moins précises (Tableau 15).

L'observation des résultats du tableau 15 permet également de démontrer que, quelle que soit la méthode choisie, le degré de précision de l'estimation de l'âge diminue lorsque l'âge réel des individus augmente. Ainsi, si les écarts sont inférieurs à 1 an (0,8 et 0,9 ans) pour les méthodes de Nolla et Londres chez les individus les

plus jeunes (4-10 ans), ces écarts deviennent supérieurs à 1 an pour les individus âgés de 10 à 15 ans et s'approchent de 2 ans d'erreur après 16 ans, ceci pour toutes les méthodes. La marge d'erreur est ainsi augmentée de presque 1 an pour toutes les méthodes.

Ces comparaisons permettent également de montrer que les méthodes de Demirjian et de Demirjian et Olze s'écartent systématiquement fortement de l'âge réel, quelle que soit la classe d'âge des individus.

Tableau 15 : Statistiques descriptives de l'échantillon et moyennes des écarts (en valeurs absolues) entre l'âge observé et l'âge réel.

Classes d'âges	n			Δ (en ans)			
	F	M	Total	Nolla	Demirjian	Demirjian + Olze	Londres
04-10	59	59	118	0,8	1,8	1,8	0,9
11-15	52	48	100	1,1	1,4	1,6	1,0
16-20	57	49	106	1,9	2,4	2,5	1,7
04-20	168	156	324	1,3	1,8	2,0	1,2

n : effectif ; F : individus de sexe féminin ; M : individus de sexe masculin ; Δ : écart moyen entre l'âge observé et l'âge réel, donné en ans. Les valeurs en gras correspondent aux écarts les plus faibles entre l'âge réel et l'âge estimé.

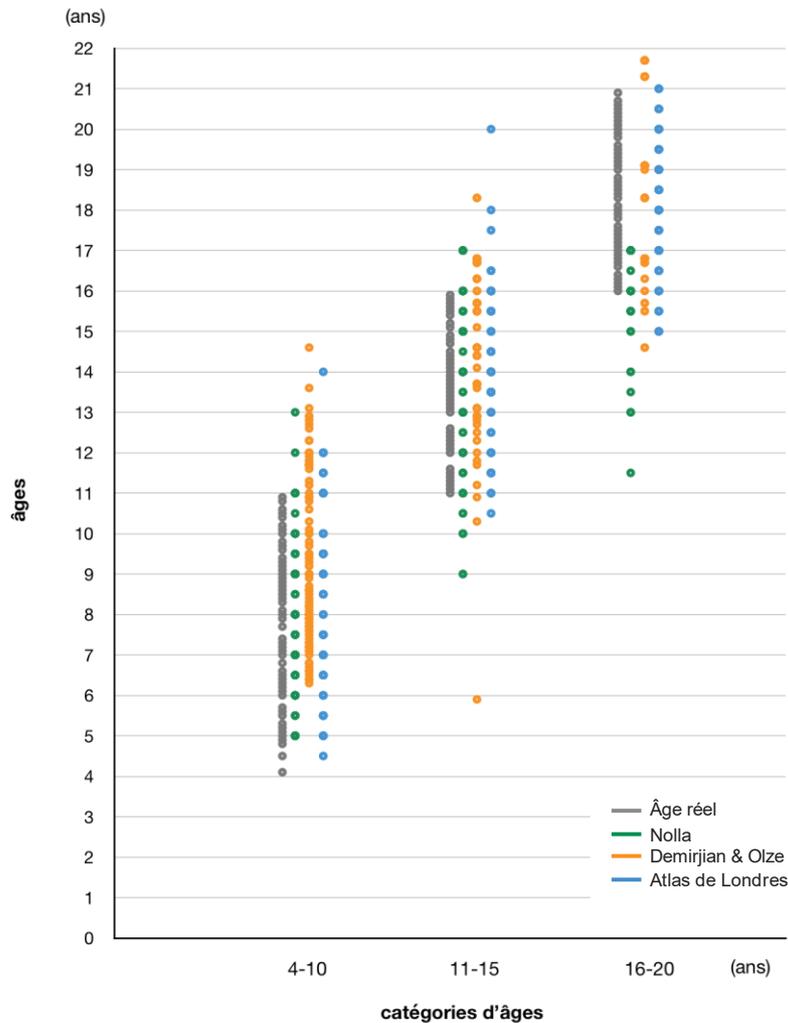


Figure 10 : Comparaison de l'âge réel par rapport aux estimations d'âges obtenues au moyen des différentes méthodes et en fonction des 3 catégories d'âge de l'étude (de 4 à 10 ans, de 11 à 15 ans et de 16 à 20 ans).

Tableau 16 : Comparaisons méthodes (écart moyen avec l'âge réel) entre elles, pour les 3 classes d'âges principales puis pour l'effectif complet. Résultats des tests de Student (t-Test).

04-10 ans	Nolla (0.8)	Demirjian (1.8)	Demirjian + Olze (1.8)	Londres (0.9)
Nolla (0.8)	-	****	****	n.s.
Demirjian (1.8)		-	n.s.	****
Demirjian + Olze (1.8)			-	****
Londres (0.9)				-

**** : p < 0,0001 ; *** : p < 0,001 ; ** : p < 0,01 ; * : p < 0,05 ; n.s. : non significatif

11-15 ans	Nolla (0.8)	Demirjian (1.8)	Demirjian + Olze (1.8)	Londres (0.9)
Nolla (0.8)	-	n.s.	****	*
Demirjian (1.8)		-	**	****
Demirjian + Olze (1.8)			-	****
Londres (0.9)				-

**** : p < 0,00001 ; *** : p < 0,0001 ; ** : p < 0,001 ; * : p < 0,05 ; n.s. : non significatif

16-20 ans	Nolla (0.8)	Demirjian (1.8)	Demirjian + Olze (1.8)	Londres (0.9)
Nolla (0.8)	-	****	***	n.s.
Demirjian (1.8)		-	n.s.	***
Demirjian + Olze (1.8)			-	****
Londres (0.9)				-

**** : p < 0,00001 ; *** : p < 0,0001 ; ** : p < 0,001 ; * : p < 0,05 ; n.s. : non significatif

Tous âges confondus	Nolla (0.8)	Demirjian (1.8)	Demirjian + Olze (1.8)	Londres (0.9)
Nolla (0.8)	-	****	****	n.s.
Demirjian (1.8)		-	*	****
Demirjian + Olze (1.8)			-	****
Londres (0.9)				-

**** : p < 0,00001 ; *** : p < 0,0001 ; ** : p < 0,001 ; * : p < 0,05 ; n.s. : non significatif

IV. Discussion

L'objectif de cette étude a été de vérifier l'exactitude de la détermination de l'âge biologique des enfants et adolescents par le biais de l'âge dentaire. Dans ce but, nous avons comparé la méthode de Nolla, la méthode de Demirjian, en combinaison avec la méthode de Olze et l'atlas de Londres. Cette étude est la première à comparer ces méthodes.

Selon notre analyse, les méthodes les plus précises sont celles de Nolla et de l'atlas de Londres avec un écart moyen de 1,3 et respectivement 1,2 ans. Les deux autres méthodes sont nettement moins précises avec des écarts autour de 2 ans.

Le cas illustré par le tableau 17 permet de visualiser les résultats obtenus. Avec un âge réel de 16,9 ans l'atlas de Londres donne le résultat le plus précis avec une différence de 2,6 ans. La méthode de Nolla ne permet que de dire que l'individu est plus âgé que 17 ans. La combinaison des méthodes de Demirjian et Olze donne le résultat le moins précis avec une différence de 5,8 ans. Cet exemple montre également que la détermination de l'âge dentaire devient très imprécise une fois que toutes les dents ont terminé leur développement.

En effet, nous pouvons observer que toutes les méthodes perdent en précision lorsque l'âge réel augmente. Ceci peut être expliqué par le fait qu'avec l'augmentation de l'âge, de plus en plus de dents ont terminé leur développement.

Ces résultats concordent avec ceux de différents auteurs qui ont comparé la méthode de Nolla et celle de Demirjian et qui concluent que la méthode de Nolla est la plus précise (Tomas *et al.*, 2014 ; Berkvens *et al.*, 2017). Cela a de plus été mentionné par Tomas *et al.* qui a mis en évidence que, chez les adultes, aucune des 2 méthodes ne permet d'estimer l'âge précisément (Tomas *et al.*, 2014).

Concernant la rapidité de mise en œuvre, la méthode la plus simple et rapide à utiliser est l'atlas de Londres, suivi de la méthode de Nolla. Les méthodes de Demirjian et de Olze demandent une étape en plus pour convertir les stades de développement en valeurs numériques et sont donc plus fastidieuses et chronophages.

Lors de l'utilisation de la méthode de Demirjian, nous avons constaté que les stades de maturation définis par cette méthode sont plus difficiles à attribuer aux dents, ce qui expliquerait pourquoi cette méthode est moins précise que les autres.

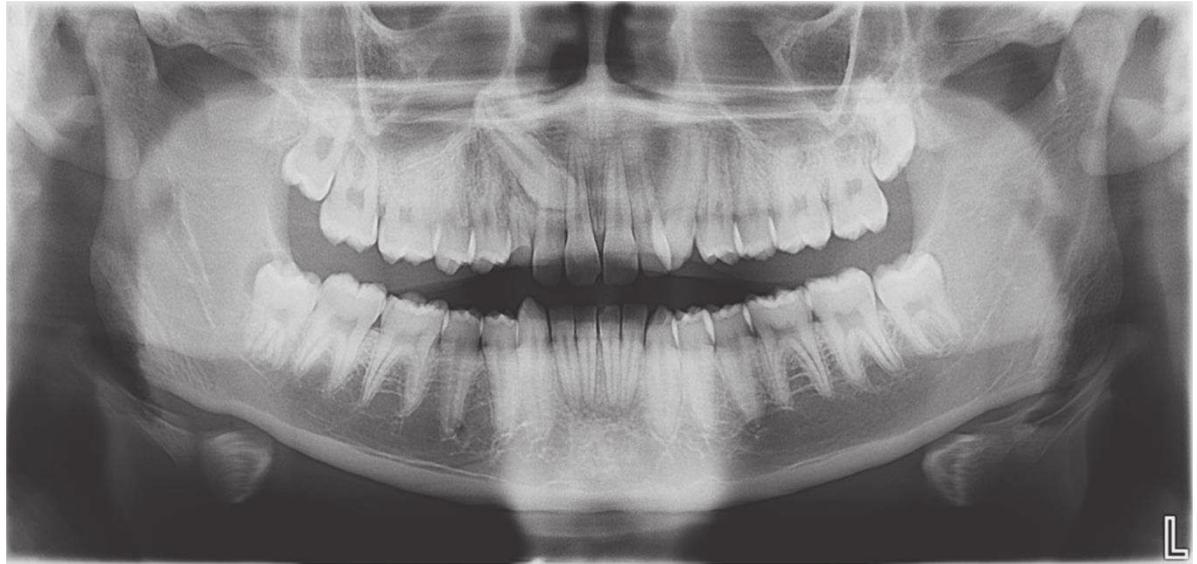
Les mauvais résultats de la combinaison des méthodes de Demirjian et de Olze peuvent être expliqués par le fait que les troisièmes molaires, sur lesquelles se basent la méthode de Olze, ne sont pas les meilleurs marqueurs pour le développement dentaire. Elles sont fréquemment absentes et leur position, leur taille, leur forme et leur temps d'éruption sont très variables d'une personne à l'autre (Thorson et Hagg, 1991 ; Mincer *et al.*, 1993).

Le développement des troisièmes molaires n'étant pas fiable et le développement de la majorité des dents prenant fin vers l'âge de 16 ans (Nolla, 1960), les troisièmes molaires ne se prêtent pas à déterminer l'âge d'individus de plus que 16 ans.

Ainsi, aucune de ces méthodes ne permet de déterminer l'âge biologique avec une exactitude telle qu'elle permettrait d'écarter tout doute au niveau juridique surtout pour des individus proches de la majorité (Figure 10). Cependant, les méthodes de Nolla et de l'Atlas de Londres seraient celles à privilégier compte-tenu du fait qu'elles présentent un degré de précision supérieur aux autres méthodes évaluées ici.

Ces méthodes ne sont certes pas suffisamment précises pour des âges supérieurs à 15 ans et nous avons montré ici que leur précision diminue avec l'augmentation de l'âge réel, cependant, elles sont tout à fait complémentaires des autres méthodes de détermination de l'âge existantes. Ainsi elles doivent, selon nous, être couplées aux méthodes de détermination de l'âge osseux afin d'affiner au mieux l'évaluation de l'âge réel des patients.

Tableau 17 : Second exemple d'analyse d'un OPT par les méthodes de Nolla, de Demirjian, de Olze et de l'atlas de Londres, montrant les disparités obtenues entre les différentes estimations pour un individu âgé d'un peu plus de 16 ans.



Sexe: Masculin
Âge réel: 16,9 ans

Méthode de Nolla

Dents :	31	32	33	34	35	36	37	38
Stades :	10	10	10	10	10	10	10	10
Score total :	80							
Âge dentaire :	> 17 ans							

Méthode de Demirjian

Dents :	31	32	33	34	35	36	37
Stades :	H	H	H	H	H	H	H
Valeurs numériques :	11,8	13,7	11,9	13,5	14,4	19,3	15,4
Total :	100						
Âge dentaire :	> 16 ans						

Méthode d'Olze

Dent :	38
Stade :	H
Âge dentaire :	22,7 ans

Atlas de Londres

Âge dentaire :	19,5 ans
----------------	-----------------

CONCLUSION

Avec l'augmentation de l'arrivée des migrants en situation irrégulière en 2015 – 2016 en Europe, l'accent a été mis sur l'estimation de l'âge des enfants, adolescents et jeunes adultes ne possédant pas de papiers d'identité valides afin de pouvoir les prendre en charge de façon adéquate et de protéger les mineurs.

Les méthodes de détermination de l'âge sont nombreuses. Les plus populaires sont celles permettant de déterminer l'âge osseux. Celui-ci est déterminé majoritairement par l'analyse des os de la main et du poignet par radiographie conventionnelle, ainsi que par l'analyse de la clavicule au moyen de différentes techniques d'imagerie. Actuellement, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) semble la plus prometteuse au vu des résultats obtenus et par le fait que ce soit une modalité d'imagerie se passant de radiations pour sa réalisation, cela étant son plus grand avantage.

Un grand nombre de méthodes ont par ailleurs été développées pour déterminer l'âge dentaire. Nous en avons comparé quatre : la méthode de Nolla, la méthode de Demirjian en combinaison avec celle de Olze et l'atlas de Londres. Nos résultats ont montré que le degré de précision varie grandement en fonction de la méthode choisie et de la tranche d'âge à laquelle appartient l'individu. Les méthodes de Nolla et de l'Atlas de Londres sont plus précises que les deux autres méthodes que nous avons étudiées, ceci principalement pour l'estimation de l'âge de très jeunes individus. Dès lors que l'estimation doit concerner des individus proches de l'âge adulte, la précision des différentes techniques chute grandement avec toutefois une précision plus élevée avec les techniques de Nolla et de l'Atlas de Londres. Ainsi, aucune de ces méthodes ne permet de déterminer l'âge biologique avec une exactitude telle qu'elle permettrait d'écarter tout doute au niveau juridique pour des individus proches de la majorité.

Ces méthodes ne sont certes pas suffisamment précises pour des âges supérieurs à 15 ans et nous avons montré ici que leur précision diminue avec l'augmentation de l'âge réel, cependant, elles sont tout à fait complémentaires des autres méthodes existantes permettant de déterminer l'âge. C'est pourquoi il est important, selon nous, et recommandé actuellement, de coupler différentes méthodes (détermination de l'âge osseux et détermination de l'âge dentaire) afin d'évaluer le plus précisément possible l'âge réel d'un individu.

Dans le futur, compte-tenu des résultats prometteurs de l'estimation de l'âge osseux au moyen de l'observation de la clavicule par IRM, on pourrait imaginer qu'une technique alternative à l'examen du développement dentaire par radiographie

conventionnelle soit l'analyse de la dentition par IRM, permettant ainsi de visualiser le degré de développement pulpaire ou d'estimer le degré d'eau présent dans la dent, ce dernier variant au cours du développement dentaire.

Actuellement, aucune méthode d'estimation de l'âge, dentaire ou squelettique, n'est suffisamment fiable, les intervalles de confiance étant trop importants pour déterminer exactement l'âge d'une personne (Sauer *et al.*, 2016).

Au Royaume-Uni plus aucun examen médical n'est utilisé afin de déterminer l'âge d'un individu (FRA). En cas de forts doutes quant à la minorité d'une personne, un interview avec cette personne est préconisé par le gouvernement anglais (Home Office).

En France, un interview multidisciplinaire a lieu avec l'individu concerné. Puis, si un doute sur l'âge persiste, des examens médicaux peuvent être réalisés avec le consentement de la personne en question (Conseil de l'Europe).

Le développement physique et psychique diffère d'une personne à l'autre et est influencé par de nombreux facteurs, comme par exemple la nutrition, le niveau socio-économique, le vécu. Ces variations inter-individuelles ne sont pas quantifiables. Ainsi, la détermination de l'âge à l'aide de valeurs standard, basées le plus souvent sur des populations européennes ou américaines, ne peut donner des résultats concluants. Malgré cela, ces méthodes sont toujours utilisées dans certains pays, alors que d'autres les ont déjà abandonnées.

SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

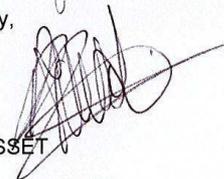
Nom - prénom de l'impétrant : KOLB Céline

Titre de la thèse : Détermination de l'âge dentaire des enfants et adolescents :
intérêt judiciaire et méthodes

Directeurs de thèse : Professeur Jean-Sébastien RAUL et Docteur Catherine-Isabelle GROS

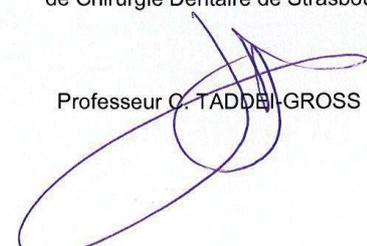
VU
Strasbourg, le : 25 février 2019
Le Président du Jury,

Professeur A-M. MUSSET



VU
Strasbourg, le : 01 MARS 2019
Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,

Professeur C. TADDEI-GROSS



RÉFÉRENCES : BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

Bibliographie

- Alcina M., Lucea A., Salicrú M., Turbón D. (2015). Reliability of the Greulich & Pyle Method for Bone Age Estimation in a Spanish Sample. *Journal of Forensic, Legal & Investigative Sciences*, 1.
- AlQahtani S.J., Hector M.P., Liversidge H.M. (2010). Brief communication: The London Atlas of Human Tooth Development and Eruption. *American Journal of Physical Anthropology*, 142, p. 481-490.
- Ariès P. (1960). *L'enfant et la vie familiale sous l'ancien régime*. Collection Histoire, Éditions Points, Paris, ré-édition de 2014. ISBN 978-2-7578-4172-3.
- Bengston R.G. (1935). A study of the time of eruption and root development of the permanent teeth between six and thirteen years. *Northwestern University Bulletin*, 35, p. 3-9.
- Berkvens M.E., Fairgrieve S.I., Keenan S. (2017). A comparison of techniques in age estimation using the third molar. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 50, p. 74-83.
- Black S., Aggrawal A., Payne-James J. (2010). *Age estimation in the living*. Wiley-Blackwell, West Sussex. ISBN 978-0-4705-1967-7.
- Black S., Scheuer L. (1996). Age changes in the clavicle: from the early neonatal period to skeletal maturity. *International Journal of Osteoarcheology*, 6, p. 425-434.
- Demirjian A., Goldstein H., Tanner J.M. (1973). A new system of dental age assessment. *Human Biology*, 45, p. 211-227.
- Demirjian A., Levesque G.Y. (1980). Sexual Differences in Dental Development and Emergence Prediction. *Journal of Dental Research*, 59, p. 1110-1122.
- Dreizen S. (1957). Bilateral symmetry of skeletal maturation of the human hand and wrist. *American Journal of Diseases of Children*, 93, p. 112-127.
- Euling S.Y., Herman-Giddens M.E., Lee P.A., Selevan S.G., Juul A., Sørensen T.I.A., Dunkel L., Himes J.H., Teilmann G., Swan S.H. (2008). Examination of US Puberty-Timing Data from 1940 to 1994 for Secular Trends: Panel Findings. *Pediatrics*, 121, p.172-191.
- Gilsanz V., Ratib O. (2005). *Hand Bone Age: A Digital Atlas of Skeletal Maturity*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg. ISBN 3-540-20951-4.
- Greulich W.W., Pyle S.I. (1959). *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. 2nd edition, Stanford University Press, Stanford, USA.
- Groell R., Lindbichler F., Riepl T., Gherra L., Roposch A., Fötter R. (1999). The reliability of bone age determination in central European children using the Greulich and Pyle method. *The British Journal of Radiology*, 72, p. 461-464.
- Hart S. N. (1991). From Property to Person Status: Historical Perspective on Children's Rights. *American Psychologist*, 46, p. 53-59.
- Hilleweg E., De Tobel J., Cuche O., Vandemaele P., Piette M., Verstraete K. (2010). Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination: a new four-minute approach. *European Radiology*, 21, p. 757-767.
- Jasuja O.P., Khandelwal N., Kaur G. (2009). Estimation of age from clavicle ossification: A comprehensive review. *Journal of the Indian Academy of Forensic Medicine*, 31(3), p. 277-284.

- Jurca A., Lazar L., Pacurar M., Bica C., Chibelea M., Bud E. (2014). Dental age assessment using Demirjian's method – a radiographic study. *European Scientific Journal*, 10, p. 51-60.
- Karkhanis S., Mack P., Franklin D. (2015). Dental age estimation standards for Western Australian Population. *Forensic Science International*, 257, p. 509.e1-509.e9.
- Kosher H., Ben-Arieh A., Hendelsman Y. (2016). *Children's Rights and Social Work*. Springer Briefs in Rights-Based Approaches to Social Work, Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-43920-4.
- Kreitner K.-F., Schweden F.J., Schild H.H., Riepert T., Nafe B. (1997). Die computertomographisch bestimmte Ausreifung der medialen Klavikulaepiphyse – eine additive Methode zur Altersbestimmung im Adoleszentenalter und in der dritten Lebensdekade. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen*, 166, p. 481 – 486.
- Kreitner K.-F., Schweden F.J., Riepert T., Nafe B., Thielen M. (1998). Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *European Radiology*, 8, p. 1116-1122.
- Liversidge M. (2012). The assessment and interpretation of Demirjian, Goldstein and Tanner's dental maturity. *Annals of Human Biology*, 39(5), p. 412-431.
- Loder R.T., Estle D.T., Morrison K., Eggleston D., Fish D.N., Greenfield M.L., Guire K.E. (1993). Applicability of the Greulich and Pyle skeletal standards to black and white children of today. *American Journal of Diseases of Children*, 147, p. 1329-1333.
- Mackie E.J., Ahmed Y.a., Tatarczuch L., Chen K.S., Mirams M., (2007). Endochondral ossification: How cartilage is converted into bone in the developing skeleton. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 40, p. 46-62.
- Malot H. (1893). *En famille*. Amazon Fulfillment, Pologne, p.128. ISBN 978-1-9815-0445-9.
- Marshall W.A., Tanner J.M. (1969). Variations in Pattern of Pubertal Changes in Girls. *Archives of Disease in Childhood*, 44, p. 291-303.
- Marshall W.A., Tanner J.M. (1970). Variations in Pattern of Pubertal Changes in Boys. *Archives of Disease in Childhood*, 45, p. 13-23.
- McManus I.C., Bryden M.P. (1992). The Genetic of handedness, cerebral dominance and lateralization. *Handbook of Neuropsychology*, 6, p. 115-144.
- Mincer H.H., Harris E.F., Berryman H.E. (1993). The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age, *Journal of Forensic Science*, 38, p. 379 – 390.
- Mora S., Boechat M.I., Pietka E., Huang H.K., Gilsanz V. (2001). Skeletal Age Determination in Children of European and African Descent: Applicability of the Greulich and Pyle Standards. *Pediatric Research*, 50, p. 624-628.
- Moorrees C.F.A., Fanning E.A., Hunt E.E. (1963). Age Variation of Formation Stages for Ten Permanent Teeth. *Journal of Dental Research*, 42, p. 1490-1502.
- Mühler M., Schulz R., Schmidt S., Schmeling A., Riesinger W. (2006). The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *International Journal of Legal Medicine*, 120, p. 15-17.
- Netter F.H. (2011). *Atlas d'anatomie humaine*. 5^e edition, Elsevier Masson, Paris. ISBN 978-2-2947-1297-5.

- Nolla, C.M. (1960). The development of permanent teeth. *Journal of Dentistry for Children*, 27, p. 254-266.
- Olze A., Taniguchi M., Schmeling A., Zhu B.-L., Yamada Y., Maeda H., Geserick G. (2003). Comparative study on the chronology of third molar mineralization in a Japanese and a German population. *Legal Medicine*, 5, p. 256-260.
- Pappas A.M. (1983). *Law and the status of the child*. United Nations Institute for Training and Research, New York.
- Rouvière H. (1948). *Anatomie Humaine Descriptive et Topographique. Tome II : Membres, Système Nerveux Central*. 6^e édition, Masson et C^{ie}, Paris.
- Satoh M. (2015). Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clinical Pediatric Endocrinology*, 24(4), p. 143–152.
- Sauer P.J.J., Nicholson A., Neubauer D. (2016). Age determination in asylum seekers: physicians should not be implicated. *European Journal of Pediatrics*, 175, p. 299-303.
- Schmeling A., Reisinger W., Loreck D., Vendura K., Markus W., Geserick G. (2000). Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *International Journal of Legal Medicine*, 113, p. 253-258.
- Schmeling A., Kaatsch H.-J., Marré B., Reisinger W., Riepert T., Ritz-Timme S., Rösing F.W., Röttscher K., Geserick G. (2001). Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren. *Rechtsmedizin*, 11, p.1-3.
- Schmeling A., Schulz R., Reisinger W., Mühler M., Wernecke K.D., Geserick G. (2004). Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *International Journal of Legal Medicine*, 118, p. 5-8.
- Schmeling A., Geserick G., Reisinger W., Olze A. (2007). Age estimation. *Forensic Science International*, 165, p. 178-181.
- Schmeling A., Grundmann C., Fuhrmann A., Kaatsch H.-J., Knell B., Ramsthaler F., Reisinger W., Riepert T., Ritz-Timme S., Rösing F.W., Röttscher K., Geserick G. (2008). Criteria for age estimation in living individuals. *International Journal of Legal Medicine*, 122, p. 457-460.
- Schmidt S., Mühler M., Schmeling A., Reisinger W., Schulz R. (2007). Magnetic resonance imaging of the clavicular ossification. *International Journal of Legal Medicine*, 121, p. 321-324.
- Schmidt S., Henke C.A., Wittschieber D., Vieth V., Bajanowski T., Ramsthaler F., Püsche K., Pfeiffer H., Schmeling A., Schulz R. (2016). Optimising magnetic resonance imaging-based evaluation of the ossification of the medial clavicular epiphysis: a multi-centre study. *International Journal of Legal Medicine*, 130, p. 1615-1621.
- Schmitt F., Grosu D., Mohr C., Purdy D., Salem K., Scott K.T., Stoeckel B. (2004). 3 Tesla MRI: successful results with higher field strengths. *Radiologe*, 44, p. 31-47.
- Schulz R., Mühler M., Mutze S., Schmidt S., Reisinger W., Schmeling A. (2005). Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. *International Journal of Legal Medicine*, 119, p. 142-145.
- Senovilla Hernández D. (2014). Analyse d'une catégorie juridique récente : le mineur étranger non accompagné, séparé ou isolé. *Revue européenne des migrations internationales*, 30, p. 17-34.

- Tanner J.M., Whitehouse R.H., Healy M.J.R. (1962). *A new system for estimating skeletal maturity from the hand and wrist, with standards derived from a study of 2600 healthy British children*. International Children's Centre, Paris.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H., Marshall W.A., Healy M.J.R., Goldstein H. (1975). *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)*. Academic Press, London.
- Tanner J.M., Oshman D., Babbage F., Healy M. (1997). Tanner-Whitehouse bone age reference values for North American children. *The Journal of Pediatrics*, 131, p. 34-40.
- Thorson J. et Hagg U. (1991) The accuracy and precision of the third mandibular molar as an indicator of chronological age, *Swedish Dental Journal*, 15, p. 15–22.
- Tomas L.F., Monico L.S.M., Tomas I., Valera-Patino P., Martin-Biedma B. (2014). The accuracy of estimating chronological age from Demirjian and Nolla methods in a Portuguese and Spanish sample. *BMC Oral Health*, 14.
- Wittscheiber D., Ottow C., Vieth V., Küppers M., Schulz R., Hassu J., Bajanowski T., Püschel K., Pfeiffer H., Schmidt S., Schmeling A. (2015). Projection radiography of the clavicle: still recommendable for forensic age diagnostics in living individuals? *International Journal of Legal Medicine*, 129, p. 187-193.
- Zhang A., Sayre J.W., Vachon L., Liu B.J., Huang H.K. (2009). Racial Differences in Growth Patterns of Children Assessed on the Basis of Bone Age. *Radiology*, 250, p. 228-235.

Webographie

Agence des droits fondamentaux de l'Union européenne. (2010) Unaccompanied Minors in the EU. https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/homeaffairs/files/what-we-do/policies/asylum/uam/uam_infographic_a4_en.pdf consulté le 01.05.2018 consulté le 18.04.2018

Commission Européenne. 10 trends shaping migration. https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/epsc_-_10_trends_shaping_migration_-_web.pdf consulté le 02.11.2018

Conseil de l'Europe. Age Assessment. Council of Europe member states' policies, procedures and practices respectful of children's rights in the context of migration. <https://rm.coe.int/age-assessment-council-of-europe-member-states-policies-procedures-and/168074b723> consulté le 19.01.2019

Droit européen de la migration. <http://www.europeanmigrationlaw.eu/documents/Asylum%20applicants%20considered%20to%20be%20unaccompanied%20minors.pdf> consulté le 18.04.2018

Eurostat. Demandeurs d'asile dans les 28 états membres de l'Union européenne de 2006 à 2017 (milliers). [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Asylum_applications_\(non-EU\)_in_the_EU-28_Member_States,_2006%E2%80%932017\(thousands\)_YB18.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Asylum_applications_(non-EU)_in_the_EU-28_Member_States,_2006%E2%80%932017(thousands)_YB18.png) consulté le 18.04.2018

FRA. Consent to medical test for age assessment. <https://fra.europa.eu/en/publication/2017/mapping-minimum-age-requirements/consent-age-assessment> consulté le 19.01.2019

Home Office. Assessing age. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/746532/assessing-age-v2.0ext.pdf consulté le 19.01.2019

Humanium, CIDE. <https://www.humanium.org/fr/texte-integral-convention-internationale-relative-droits-enfant-1989/> consulté le 03.05.2018

Humanium, les droits de l'enfant. <https://www.humanium.org/fr/histoire-des-droits-de-l-enfant/> consulté le 03.05.2018

Legifrance. Article 388 du code civil. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006070721&idArticle=LEGIARTI000006427141&dateTexte=&categorieLien=cid> consulté le 16.04.2018

Legifrance. Article 227-25 du code pénal. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006070719&idArticle=LEGIARTI000006418099&dateTexte=&categorieLien=cid> consulté le 16.04.2018

Lemonde. Non, la loi Schiappa n'a pas « légalisé la pédophilie » ni assoupli les règles de consentement. https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2018/08/09/non-la-loi-schiappa-n-a-pas-legalise-la-pedophilie-ni-assoupli-les-regles-de-consentement_5340841_4355770.html consulté le 19.01.2019

Service public. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F1837> consulté le 04.05.2018