



HAL
open science

Evaluation de la variabilité inter et intra-observateurs du stade d'ossification du bord médial des clavicules au scanner

Eugénie Chevalme

► **To cite this version:**

Eugénie Chevalme. Evaluation de la variabilité inter et intra-observateurs du stade d'ossification du bord médial des clavicules au scanner. Médecine humaine et pathologie. 2020. hal-03806018

HAL Id: hal-03806018

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03806018>

Submitted on 7 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

2020

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

dans le cadre du troisième cycle de Médecine spécialisée

par

Eugénie CHEVALME

le 27 octobre 2020

**EVALUATION DE LA VARIABILITE INTER ET INTRA-
OBSERVATEURS DU STADE D'OSSIFICATION DU BORD MEDIAL DES
CLAVICULES AU SCANNER**

Examineurs de la thèse

| | | |
|------------------|------------|-------------------|
| M. A. BLUM | Professeur | Président |
| M. B. LEHEUP | Professeur | Juge |
| M. L. MARTRILLE | Docteur | Juge et Directeur |
| Mme. E. MARCHAND | Docteur | Juge |



Président de l'Université de Lorraine :
Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen de la Faculté de Médecine
Professeur Marc BRAUN

Vice-doyenne
Pr Laure JOLY

Asseseurs :

Premier cycle : Dr Nicolas GAMBIER
Deuxième cycle : Pr Antoine KIMMOUN
Troisième cycle : Pr Laure JOLY
Formation à la recherche : Pr Nelly AGRINIER
Relations Grande Région : Pr Thomas FUCHS-BUDER
CUESim : Pr Stéphane ZUILY
SIDES : Dr Julien BROSEUS
Vie Facultaire : Dr Philippe GUERCI
Etudiant : Mme Audrey MOUGEL

Chargés de mission

Docimologie : Dr Jacques JONAS
Orthophonie : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER
PACES : Pr Mathias POUSSEL
Relations internationales : Pr Jacques HUBERT

Présidente du Conseil de la Pédagogie : Pr Louise TYVAERT
Président du Conseil Scientifique : Pr Jean-Michel HASCOET

===== **DOYENS HONORAIRES**

Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER - Professeur Henry COUDANE

===== **PROFESSEURS HONORAIRES**

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL - Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Louis BOUTROY - Laurent BRESLER - Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT - Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER - Henry COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE - Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Gilles GROSDIDIER - François GUILLEMIN - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT - Claude HURIET - Jean-Pierre KAHN - Gilles KARCHER - Michèle KESSLER - François KOHLER - Pierre LANDES - Pierre LASCOMBES - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL - Jean-Claude MARCHAL - Yves MARTINET - Pierre MATHIEU - Thierry MAY - Michel MERLE - Daniel MOLÉ - Pierre MONIN - Pierre NABET - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN - Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Jean-Luc SCHMUTZ - Michel SCHWEITZER - Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT - Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT - Michel WEBER - Denis ZMIROU - Faïez ZANNAD

===== **PROFESSEURS ÉMÉRITES**

Etienne ALIOT - Laurent BRESLER - Serge BRIANÇON - Henry COUDANE - Gilbert FAURE - Alain LE FAOU - Thierry MAY - Patrick NETTER - Luc PICARD - François PLENAT - Paul VERT - Jean-Pierre VILLEMOT - Faïez ZANNAD

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ

2^e sous-section : (*Histologie, embryologie et cytogénétique*)

Professeur Christo CHRISTOV

3^e sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur Guillaume GAUCHOTTE

43e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{re} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER - Professeur Antoine VERGER

2^e sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY - Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur David MEYRE - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER - Professeur Abderrahim OUSSALAH

2^e sous-section : (*Physiologie*)

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUÉL - Professeur Mathias POUSSEL

3^e sous-section (*Biologie cellulaire*)

Professeure Véronique DECOT-MAILLERET

4^e sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LOZNIIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

2^e sous-section : (*Parasitologie et Mycologie*)

Professeure Marie MACHOUART

3^e sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeure Céline PULCINI - Professeur Christian RABAUD

46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN

4^e sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Pierre FEUGIER

2^e sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT - Professeur Guillaume VOGIN

3^e sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO

4^e sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

48e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1^{re} sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER

Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

2^e sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY - Professeur Antoine KIMMOUN

3^e sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

4^e sous-section : (*Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie*)

Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL

5^e sous-section : (Médecine d'urgence)

Professeur Tahar CHOUHED

49^e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

1^{re} sous-section : (Neurologie)

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD - Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

2^e sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

3^e sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

4^e sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Bernard KABUTH

5^e sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{re} sous-section : (Rhumatologie)

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

2^e sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

3^e sous-section : (Dermato-vénéréologie)

Professeure Anne-Claire BURSZTEJN

4^e sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

51^e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

1^{re} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

2^e sous-section : (Cardiologie)

Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET - Professeur Yves JUILLIERE - Professeur Batric POPOVIC - Professeur Nicolas SADOUL

3^e sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

4^e sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

52^e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^e sous-section : (Chirurgie viscérale et digestive)

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeure Adeline GERMAIN

3^e sous-section : (Néphrologie)

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

4^e sous-section : (Urologie)

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

53^e Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

1^{re} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie)

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY
Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY

3^e sous-section : (Médecine générale)

Professeur Jean-Marc BOIVIN - Professeur Paolo DI PATRIZIO

54^e Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{re} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^e sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^e sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

4^e sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

55e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (*Oto-rhino-laryngologie*)

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER - Professeure Cécile RUMEAU

2^e sous-section : (*Ophthalmologie*)

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD

3^e sous-section : (*Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie*)

Professeure Muriel BRIX

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61e Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Professeur Walter BLONDEL

64e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

65e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Professeure Céline HUSELSTEIN

66e Section : PHYSIOLOGIE

Professeur Nguyen TRAN

=====

PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

53e Section, 3^e sous-section : (*Médecine générale*)

Professeure associée Sophie SIEGRIST

Professeur associé Olivier BOUCHY

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (*Anatomie*)

Docteur Bruno GRIGNON

2^e sous-section : (*Histologie, embryologie, et cytogénétique*)

Docteure Isabelle KOSCINSKI

44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Isabelle GASTIN - Docteure Catherine MALAPLATE - Docteur Marc MERTEN

2^e sous-section : (*Physiologie*)

Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Jacques JONAS

45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

2^e sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteure Anne DEBOURGOGNE

46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE

Docteur Arnaud FLORENTIN - Docteur Jonathan EPSTEIN (stagiaire)

2^e sous-section (*Médecine et Santé au Travail*)

Docteure Isabelle THAON

47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI

2^e sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Docteure Lina BOLOTINE

3^e sous-section : (*Immunologie*)

Docteure Alice AARNINK

4^e sous-section : (Génétique)

Docteure Céline BONNET - Docteure Mathilde RENAUD (stagiaire)

48^e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1^e sous-section : (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

Docteur Philippe GUERCI

3^e sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

49^e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

2^e sous-section : (Neurochirurgie)

Docteur Fabien RECH

3^e sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Docteur Thomas SCHWITZER

4^e sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Docteur Fabienne ROUYER-LIGIER (stagiaire)

50^e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

4^e sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

51^e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

3^e sous-section : (Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire)

Docteur Fabrice VANHUYSE

4^e sous-section : (Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire)

Docteure Nicola SETTEMBRE

52^e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Docteur Anthony LOPEZ

54^e Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^e sous-section : (Pédiatrie)

Docteure Cécile POCHON (stagiaire)

4^e sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale)

Docteure Eva FEIGERLOVA

5^e sous-section : (Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale)

Docteur Mikhaël AGOPIANTZ

55^e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (Oto-Rhino-Laryngologie)

Docteur Patrice GALLET

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^e Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

7^e Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

19^e Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

63^e Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE, ÉLECTRONIQUE, PHOTONIQUE ET SYSTÈMES

Madame Pauline SOULET LEFEBVRE (stagiaire)

64^e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

65^e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Christophe NEMOS

69^e Section : NEUROSCIENCES

Madame Sylvie MULTON

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

53^e Section, 3^e sous-section : (Médecine générale)

Docteur Cédric BERBE

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)

Brown University, Providence (U.S.A)

Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)

Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)

Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)

Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)

Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur Duong Quang TRUNG (1997)

Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIËTNAM)

Professeur Daniel G. BICHET (2001)

Université de Montréal (Canada)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)

Institute of Technology, Atlanta (USA)

Professeur Brian BURCHELL (2007)

Université de Dundee (Royaume-Uni)

Professeur Yunfeng ZHOU (2009)

Université de Wuhan (CHINE)

Professeur David ALPERS (2011)

Université de Washington (U.S.A)

Professeur Martin EXNER (2012)

Université de Bonn (ALLEMAGNE)

Remerciements,

A notre Président du Jury,

Monsieur le Professeur Alain BLUM, Professeur des Universités, Praticien Hospitalier de Radiologie et d'Imagerie Médicale,

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en présidant ce jury et de l'intérêt que vous avez porté à notre travail.

Nous vous remercions également pour votre disponibilité et vos conseils avisés.

Votre expertise radiologique au regard de cette étude, ainsi que votre présidence valorisent à souhait les questionnements abordés au travers de ce sujet.

A nos membres du Jury,

Monsieur le Professeur Bruno LEHEUP, Professeur des Universités, Praticiens hospitaliers de Génétique Médicale, Officier des Palmes Académiques,

Nous vous remercions infiniment et sommes reconnaissant de votre présence au sein de ce jury.

C'est un honneur de vous partager notre travail afin d'apporter toute l'objectivité de votre expérience à notre étude.

Monsieur le docteur Laurent MARTRILLE, Maître de conférences des Universités, Praticien Hospitalier de Médecine Légale,

Nous vous remercions pour votre disponibilité, votre enseignement et encadrement durant toutes ces années.

Nous vous remercions pour votre patience et votre soutien à l'élaboration de ce travail.

Vous nous avez transmis votre passion et votre vocation pour la médecine légale.

Nous vous en sommes sincèrement reconnaissants.

Madame le docteur Elodie MARCHAND, Praticien Hospitalier Universitaire de Médecine Légale,

Au-delà de notre collaboration quotidienne, c'est un honneur de vous compter parmi les membres de notre jury.

Nul doute que votre volonté de transmettre votre savoir permettra d'approfondir le sujet de notre travail et d'en aborder d'autres.

A ma famille,

A mes parents,

Les piliers de ma vie. Je vous remercie pour votre amour et votre soutien sans faille.

Le bonheur et la réussite de vos enfants a toujours été et sera toujours une priorité à vos yeux.

Je suis fière aujourd'hui d'être ce que je suis, grâce à vous.

A mes sœurs : Sophie, Justine et Amandine,

Mes princesses, je vous remercie pour ces moments de bonheur, de joie et de fous rires durant toutes ces années d'étude.

Je suis fière de vous.

A la mémoire de ma grand-mère,

Ma bonne étoile, mon ange gardien, il ne s'est pas passé un jour sans penser à toi, lors de l'élaboration de ce travail.

Je sais que tu y as contribué à ta manière.

A toi, Antony,

Je sais à quel point il a été difficile de supporter mon stress et mes angoisses durant ces plusieurs mois alors je te remercie pour ta force, ta patience, ton soutien, ton aide, ton optimisme et tes précieux conseils, toujours emplis de sagesse et de bienveillance.

A mes collègues et amis,

A toi, Gaëlle,

J'ai pu te rencontrer au décours de ce semestre en pédiatrie, certainement, l'une des plus belles rencontres. Une force tranquille, passionnée et passionnante.

Je te remercie pour ton écoute, ton soutien et toutes les réponses apportées à mes questionnements, aussi bien personnelles que professionnelles.

A toi, Nicolas,

Je te remercie pour ton partage de connaissances, ton humour et ta bienveillance.

Je ne doute pas de notre amitié et collaboration future, aussi bien en radiologie qu'en médecine légale.

A tous mes collègues et amis ; passés, présents et futurs.

SERMENT

« Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire. Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément. Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés. J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».

Table des matières

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PREAMBULE | 14 |
| PREMIERE PARTIE : CONTEXTE | 16 |
| Chapitre 1. Le mineur isolé non accompagné..... | 16 |
| A. Définitions..... | 16 |
| B. Les cadres juridiques | 17 |
| C. Etat des lieux | 21 |
| Chapitre 2. Le mineur en droit pénal..... | 22 |
| A. Mineurs auteurs d'une infraction..... | 22 |
| B. Mineurs victimes d'une infraction..... | 23 |
| Chapitre 3. Méthodes d'estimations de l'âge..... | 23 |
| A. L'âge osseux | 23 |
| B. L'âge dentaire..... | 28 |
| C. L'âge pubertaire | 32 |
| D. Le rôle du médecin légiste | 32 |
| ARTICLE: ETUDE CLIVAGE | 35 |
| Abstract | 35 |
| Introduction | 36 |
| Materials and methods | 36 |
| Results | 39 |
| Discussion | 43 |
| Conclusion | 48 |
| References | 49 |
| DISCUSION : LES ENJEUX DE L'ESTIMATION DE L'AGE | 53 |
| A. Pertinence des tests utilisés | 53 |
| B. Variabilités des pratiques et des tests utilisés..... | 58 |
| C. Question prioritaire de constitutionnalité..... | 61 |
| CONCLUSION | 62 |
| BIBLIOGRAPHIE | 63 |
| ANNEXE | 73 |
| Annexe 1 : Exemple de rapport type d'estimation de l'âge au sein du CHRU de Nancy | 73 |

PREAMBULE

L'âge d'un individu fait partie intégrante de l'identité d'une personne, il prend une place importante au sein d'une société puisqu'il peut s'avérer primordiale pour définir et garantir les droits et protections propres à certaines catégories d'âge, comme celle des mineurs [1].

Lorsque des doutes sérieux existent sur l'identité [2] (absence de document d'identité officiel, doute sur une falsification des documents ou tentative d'usurpation...) et sur leur âge réel, les autorités compétentes font appel aux médecins légistes afin d'estimer au mieux leurs âges, et ainsi définir les droits et protections dont ils peuvent bénéficier.

Il est, en effet, nécessaire de pouvoir identifier les majeurs se disant mineurs afin de minimiser des peines dans la cadre de suspicion d'infraction ou pour bénéficier de certains droits non éligibles, mais aussi les mineurs se déclarant majeurs afin de poursuivre leur route plus facilement, d'accéder à un emploi, ou lorsqu'ils sont « forcés » à se déclarer majeurs dans le cadre de passage clandestins et/ou d'exploitations humaines (travail forcé, servitude, esclavage, exploitation sexuelle...), des problèmes encore largement sous-estimé.

Il n'existe, malheureusement, aucun moyen de définir l'âge exact d'un individu.

Afin de se rapprocher au plus près de cet âge réel, le médecin légiste essaie de déterminer l'âge biologique de l'individu, c'est-à-dire son degré de vieillissement physiologique.

Pour cela, il peut s'aider de techniques morphologiques et morphométriques tels que l'estimation de l'âge osseux, l'âge dentaire ou encore l'âge pubertaire.

Initialement, ces dispositifs ont été introduits pour les cliniciens endocrinologues, chirurgiens orthopédistes et pédiatres, dans le but de diagnostiquer et suivre des anomalies de la croissance et de la puberté, puis détournés par les médecins légistes à des fins médico-légales [3].

L'estimation de l'âge osseux consiste à étudier le degré d'ossification et de fusion des cartilages de conjugaison au niveau des épiphyses des os longs du corps. Plus le cartilage est ossifié et fusionné, plus l'individu est âgé.

Afin d'étudier cet âge osseux et se rapprocher au mieux de l'âge réel, il existe de nombreuses recherches publiées à ce jour, notamment sur la réalisation de radiographies, scanners, IRM et échographies de différentes parties du corps.

Il s'avère que l'utilisation de la radiographie de la main et du poignet gauche en radiographie, ainsi que le scanner de l'épiphyse médiale de la clavicule sont les techniques d'imageries les plus utilisées en pratique courante.

Pour chaque méthode, il existe des Atlas ou des classifications afin de déterminer des tranches d'âges en fonction du degré de maturité de l'os.

Malheureusement ces méthodes manquent de précision au sens statistique du terme, elles sont opérateurs dépendants et possèdent des écarts types importants, c'est-à-dire des tranches d'âges très larges pour un même stade d'ossification et de fusion de l'os [4-5].

Il est important de comprendre que ces variations, sources potentielles d'erreurs quant à la décision de déclarer la minorité ou la majorité d'un individu, peuvent provoquer de graves conséquences.

Que deviennent les mineurs déclarés majeurs, les privant de leurs droits et protections ? Ou encore les majeurs reconnus mineurs, pouvant ainsi profiter de droits ou remises de peines dont ils ne devraient pas bénéficier ?

Il s'agit là d'un enjeu moral, social et politique.

Par ailleurs, sur le plan éthique, est-il licite d'irradier des individus à des fins non médicales devant une telle variabilité et de telles limites de ces techniques d'estimation d'âge ?

Dans une première partie introductive, nous décrirons le cadre juridique pour lesquels une estimation d'âge peut être mandatée (mineurs isolés non accompagnés, procédure pénale), puis nous présenterons les principales méthodes d'estimations d'âge utilisées en pratique courante. La deuxième partie, objectif principal de ce travail, consistera à étudier le taux de reproductibilité intra et inter-observateurs de l'estimation de l'âge à partir du stade d'ossification de l'épiphyse médiale des clavicules au scanner, entre experts, appartenant à l'Unité Médico-Judiciaires (UMJ) du Centre Hospitalier Régional Universitaire de Nancy. Ce travail permettra en outre de réaliser un constat des pratiques chez les médecins légistes et des réponses rendues aux autorités compétentes.

Une troisième partie visera à mettre en évidence les enjeux d'une telle expertise au sein de notre société.

PREMIERE PARTIE : CONTEXTE

Chapitre 1. Le mineur isolé non accompagné

Depuis de nombreuses années, tous les pays du monde sont confrontés à l'arrivée sur leur territoire de migrants, notamment des mineurs non accompagnés de leurs parents ou d'un adulte pénalement responsable. Ces enfants se retrouvent seuls, en quête de protection, fuyants des situations géopolitiques complexes à l'origine de leur déplacement forcé (discriminations sociales, violences politiques, crises économiques, conflits armés...).

Selon le Haut-commissariat des nations unies pour les réfugiés [6] « *une protection et une assistance efficaces doivent être fournies aux enfants non accompagnés de façon systématique, complète et intégrée* ». Ces enfants ne doivent pas se voir refuser l'accès à un territoire, et une prise en charge adaptée doit être débutée dès son arrivée. Il en va de leur intérêt supérieur.

Au-delà du statut « d'étranger », le mineur étranger est avant tout un mineur, c'est à dire une personne vulnérable qui doit être protégée [6].

La Convention Internationale relative aux droits de l'Enfant [7] quant à elle précise que : « *Si un enfant est privé des éléments constitutifs de son identité ou de certains d'entre eux, les états parties doivent lui apporter une assistance et une protection appropriée, pour que son identité soit rétablie aussi rapidement que possible* ».

A. Définitions

Les mineurs étrangers non accompagnés

Selon le Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés [6], « *un enfant non accompagné est une personne âgée de moins de 18 ans, sauf si la majorité est atteinte plus tôt en vertu de la législation qui lui est applicable, qui est séparé de ses deux parents et n'est pas pris en charge par un adulte ayant, de par la loi ou la coutume, la responsabilité de le faire* ».

Pour le Conseil de l'Union Européenne [8], il s'agit de « *tous les nationaux de pays tiers de moins de 18 ans qui entrent dans le territoire des Etats membres sans être accompagnés d'un adulte qui soit responsable d'eux par effet de la loi ou de fait, et tant qu'ils ne soient pas effectivement à charge d'une telle personne [...] tout comme les mineurs nationaux de pays qui furent laissés seuls après être entrés dans le territoire de l'Etat membre* » [9].

En France, le mineur non accompagné, anciennement mineur isolé étranger, n'est pas clairement défini par le droit national, mais la loi n°2016-297 du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant [10] rappelle qu'il s'agit de mineurs privés temporairement ou définitivement de la protection de sa famille. Ainsi, tous les mineurs non accompagnés relèvent de la compétence des départements et bénéficient de la protection à l'enfance (Article L.112-3 du code de l'action sociale et des familles).

Les demandeurs d'asile

Selon les directives du Conseil de l'Union européenne [8], la demande d'asile correspond à « *une demande présentée par un ressortissant d'un pays tiers ou un apatride qui peut être comprise comme une demande de protection internationale par un État membre en vertu de la convention de Genève [11]. Toute demande de protection internationale est présumée être une demande d'asile, à moins que le ressortissant d'un pays tiers ou l'apatride ne sollicite explicitement une autre forme de protection pouvant faire l'objet d'une demande séparée* ».

Le demandeur d'asile est donc une personne inscrite dans une procédure visant à obtenir la reconnaissance du statut légal de réfugié.

Tout mineur étranger non accompagné peut en faire la demande et l'accès aux procédures doit leur être facilité quel que soit leur âge.

Les réfugiés

Selon l'article premier de la Convention de Genève du 28 juillet 1951 [11], un réfugié est « *une personne qui craint, avec raison, d'être persécutée du fait de sa race, de sa religion, de sa nationalité, de son appartenance à un groupe social ou de ses opinions politiques, se trouve hors du pays dont elle a la nationalité, et qui ne peut, ou du fait de sa crainte, ne veut se réclamer de la protection de ce pays* ».

La définition est la même pour tout individu, quel que soit son âge.

Il s'agit donc d'un ressortissant d'un pays tiers ou un apatride ayant présenté une demande d'asile, acceptée dans les suites [11].

Le statut légal de réfugié lui permet alors le droit de séjourner sur le territoire.

B. Les cadres juridiques

Les instances internationales et européennes

Il existe des directives d'instances internationales et européennes [6-8], guidant la prise en charge de ces mineurs non accompagnés afin de leur garantir une protection internationale, basés sur le principe de « l'intérêt supérieur de l'enfant ». Cette notion de droit international privé, a été introduite en 1989 par l'Organisation des Nations Unies dans l'article 3 de la convention relative aux droits des enfants [7]. Les articles 19 et 20 de cette convention insistent sur les mesures de protection et d'aides spéciales de l'Etat à mettre en place pour les enfants non accompagnés et les enfants séparés. Quant à l'article 22, ils détaillent les droits des enfants cherchant à obtenir le statut de réfugié.

L'Assemblée parlementaire du Conseil de l'Europe a elle aussi, formulé des propositions, en particulier dans la recommandation n° 1969 et sa résolution n°1810 de 2011 [8], afin de solutionner les problèmes liés à l'arrivée, au séjour et au retour des enfants non accompagnés.

Nous retrouvons également des propositions de prise en charge, lors de la Convention relative au statut des réfugiés, conclue à Genève en 1951 [11].

En 2011, la Commission Européenne a publié une communication intitulée « programme de l'UE en matière de droits de l'enfant 2011-2014 » [12] en incluant le cas des MNA non demandeurs d'asile. Ce programme visait à uniformiser les pratiques au sein de l'Union-européenne et se divisait en 11 actions à mettre en place.

Toutes ces recommandations internationales et européennes suggèrent avant tout que les enfants non accompagnés soient traités comme des enfants et non des migrants. La protection des enfants, et non le contrôle de l'immigration, devrait être la principale préoccupation des Etats à l'égard de ces mineurs non accompagnés.

Les Principes généraux de prise en charge

Selon ces directives internationales et européennes [6-12], aucun enfant ne devrait être privé de l'accès au territoire dans lequel il se rend. Il est donc nécessaire pour les autorités compétentes du territoire d'accueil de repérer et de s'assurer le plus rapidement possible de l'identité de l'enfant et du caractère « non accompagné » de celui-ci, afin de l'aider et le protéger au plus vite.

L'identification consiste à recueillir : « *les données biographiques, les informations sur la famille, les informations sur les personnes non apparentées importantes pour l'enfant, les circonstances dans lesquelles l'enfant a été trouvé/identifié, les informations sur la séparation avec ses parents (causes : familiales, discriminations sociales, violences politiques, crises économiques, conflits armés, actes de tortures, maltraitance...), les informations sur la vie de l'enfant avant et après sa séparation, la santé physique de l'enfant et son passé médical, sa situation en matière d'éducation, l'organisation des soins actuels, les désirs et projets de l'enfant pour le futur, une évaluation préliminaire du développement mental et émotionnel de l'enfant et de son niveau de maturité, définition de son âge* » [6].

Elle doit s'effectuer en plusieurs entretiens et être adaptée à l'âge de l'enfant.

Ces entretiens devront être effectués par des personnes formées et qualifiées. Ces personnes devront posséder des connaissances sur le développement psychologiques, affectif, physique et comportemental des enfants. Elles devront s'exprimer dans la langue maternelle de l'enfant, si ce n'est pas possible, un interprète doit être sollicité.

Elles devront aussi justifier de connaissances en droits des mineurs et sur les parcours migratoires et géopolitiques des pays d'origine des jeunes mineurs non accompagnés qu'ils reçoivent [6].

Si des doutes sérieux persistent sur l'identité, notamment l'âge des individus (absence de certificat de naissance, suspicion de falsification...) après les entretiens, des analyses médicales

complémentaires peuvent être mandatées. Pour cela, l'accord de l'intéressé doit être obtenu. S'il refuse, cela ne doit pas lui être préjudiciable [6].

Une fois que l'enfant est bien identifié comme mineur et non accompagné, l'Etat doit parvenir à déterminer s'il est demandeur d'asile ou non. En effet, l'accès à la demande d'asile doit toujours être accessible. Si la demande d'asile est confirmée, l'enfant doit être représenté par un adulte (tuteur ou conseiller) afin de l'accompagner dans les procédures. Si l'enfant n'est pas demandeur d'asile, son retour dans son pays d'origine doit lui être facilité.

La réalisation des entretiens et les décisions prises à l'égard de ces jeunes mineurs non accompagnés doivent toujours leur être expliqués clairement afin qu'ils en comprennent toutes les conséquences [6].

Une fois l'autorisation de séjour obtenue, des plans d'action durables devront être mis en place pour l'enfant (hébergement, scolarité, soins...) [6].

En France, la prise en charge d'un MNA est organisée par une circulaire du ministère de la Justice du 31 mai 2013, relative à la mise à l'abri, l'évolution et l'orientation des mineurs [2].

Ainsi, « *le mineur étranger de 18 ans ne peut jamais faire l'objet d'une obligation de quitter le territoire français ou encore d'une mesure de reconduite à la frontière* » (Code de l'entrée et du séjour des étrangers et du droit d'Asile).

L'accueil des MNA se fait par le conseil départemental, soit l'Aide sociale à l'enfance (ASE). Celui-ci met alors en place un accueil provisoire d'urgence de 5 jours afin d'évaluer le caractère isolé et la minorité de l'enfant et permet une protection administrative à l'intéressé.

L'évaluation est réalisée par les services du conseil départemental ou peut être déléguée à une structure associative.

L'évaluation comprend [2] :

- Des entretiens se basant sur une présentation du MNA, de sa famille, de son mode de vie, sa scolarisation, son parcours jusqu'à son arrivée en France. Il doit également présenter ses projets futurs. Une trame d'évaluation a été rédigée par le ministère de la Justice afin d'uniformiser les pratiques sur le territoire.

- Une vérification de l'authenticité des documents d'identités, par les autorités compétentes. En principe, il existe une présomption de validité de ces documents. Cependant, les mineurs étrangers non accompagnés ne possèdent, bien souvent, qu'un acte de naissance, ne permettant pas d'attester de son identité. En effet, les actes de naissances ne possèdent pas de photographie, ce qui ne permet pas de prouver que le document appartient bien aux mineurs qui le présentent. Cette validité peut également être remise en cause lorsqu'il existe une apparence frauduleuse (ratures...) ou lorsqu'il existe des incohérences entre les documents fournis et l'histoire de vie du jeune MNA.

- Une expertise médicale de l'âge lorsque des doutes sérieux persistent après les deux étapes citées ci-dessus, sur réquisition du parquet.

Si la minorité et l'isolement est établis à la fin des évaluations et au bout de 5 jours, le président du conseil départemental informe le procureur de la république (Article 375 du code civil), qui désignera le conseil départemental auquel il confie le mineur, par ordonnance de placement provisoire, pouvant être différent de celui d'accueil pour limiter les disparités et harmoniser les pratiques entre les départements. Il informera lui-même le juge des enfants compétents du lieu de placement définitif du mineur non accompagné (Article 1881 alinéa premier du code de procédure civile). Le mineur non accompagné bénéficiera alors d'une protection non plus administrative mais essentiellement judiciaire.

Lorsque l'évaluation persiste au-delà de 5 jours, le président du conseil général du département doit saisir le procureur de la république, permettant le passage d'une protection administrative à une protection judiciaire, par le biais d'une ordonnance de placement provisoire pour une durée de 8 jours.

S'il n'est toujours pas permis de déterminer le caractère mineur de l'individu au bout de ces 8 jours, c'est au parquet de saisir le juge des enfants pour permettre le maintien de la mesure de placement jusqu'à la fin l'évaluation.

Une fois l'évaluation terminée, le juge pour enfant informe le parquet afin de décider du lieu d'accueil définitif.

Dans toutes les situations, le choix du lieu d'accueil définitif se base sur le principe de « l'orientation nationale », c'est-à-dire la part des individus de moins de 19 ans dans chaque département.

Une fois reconnue mineur isolé, la prise en charge financière de celui-ci relèvera du conseil général du lieu de placement définitif (Article L.228-3 du code de l'action sociale et des familles). [2, 13]

Les circonstances de l'estimation de l'âge

Tout individu se déclarant mineur afin de séjourner sur un territoire doit apporter la preuve de son âge. En l'absence de preuve, l'Etat peut estimer l'âge de l'individu afin de lui accorder l'accès au territoire et les droits dont il peut bénéficier.

Suite à cette estimation de l'âge, ces mineurs non accompagnés peuvent donc se voir modifier leurs statuts et passer de mineurs à majeurs, perdants alors leurs protections et être menacés d'une mesure d'éloignement forcé du territoire.

Mais celle-ci ne sert pas seulement à différencier le caractère mineur de majeur, elle peut également être utile lorsque l'âge d'un enfant reste inconnu, afin de garantir son identité, au sein d'une société ou de permettre à l'enfant de jouir des droits spécifiques à son âge [14]. En effet, selon l'Unicef [14], seulement la moitié des enfants de moins de cinq ans ont été enregistrés à la naissance dans les pays en développement.

Ainsi la détermination de l'âge peut être utile pour d'autres aspects de la vie du mineur non accompagné (accès à la scolarité, accès à l'emploi, accès aux garanties procédurales dans le cadre des systèmes de justice pénale, accès aux soins médicaux...), afin de lui favoriser son insertion et intégration (hébergement adapté à son âge...).

Au final, la décision du caractère « mineur » en revient toujours à l'Etat et ses autorités compétentes. Cependant, s'il persiste des doutes après la réalisation d'un examen médical, la présomption de minorité devrait primer pour ces jeunes non accompagnés.

C. Etat des lieux

Malheureusement, il n'existe pas de données statistiques fiables concernant ces mineurs non accompagnés en transit, puisqu'il reste difficile de comptabiliser les MNA non demandeurs d'asile par rapport aux demandeurs d'asile.

En Europe

Selon « *EuroStat* », office statistique de l'Union Européenne [15], 19 700 demandeurs d'asile étaient considérés comme mineurs non accompagnés, en 2018.

86% étaient des garçons. 75% (soit 14800 personnes) étaient âgés de 16 à 17 ans, 17% étaient âgés de 14 à 15 ans (soit 3 400 personnes) et 7% étaient âgé de moins de 14 ans (soit 1 400 personnes). Le pays recevant le plus de mineurs non accompagnés demandeurs d'asile se trouvaient être l'Allemagne (avec 4 100 jeunes), suivie par l'Italie (avec 3 900 personnes), le Royaume-Uni (avec 2 900 personnes) et la Grèce (avec 2 600 personnes).

Les Afghans constituaient la principale nationalité des mineurs non accompagnés demandeurs d'asiles dans l'Union Européenne en 2018, suivie par les érythréens, les pakistanais, les syriens, les guinéens puis les Irakiens.

En France

En France, 16 760 mineurs non accompagnés sont arrivés sur le territoire français, selon le ministère de la Justice en 2019, contre 17 022 en 2018 et 14 908 en 2017.

Le gouvernement en avait seulement recensé 8054 en 2016 [16].

Une augmentation de 23,8% de la proportion des filles a été observée entre 2017 et 2018 mais la présence de ces filles reste cependant bien inférieure à celle des garçons. On compte 16 009 garçons pour 751 filles en 2019. La tranche d'âge la plus représentative se situe entre 15-16 ans. Les principaux pays de provenances en 2019 sont la Guinée, le Mali et la Côte d'Ivoire. Ils représentent à eux trois 61% des mineurs non accompagnés sur le territoire français.

En effet, la population de ces pays est confrontée à des crises économiques, des taux de chômage élevé, à des inégalités éducatives et sanitaires. Elles vivent dans un climat d'insécurité et de peur (Violences armées, terrorismes...).

Les autres pays de provenance en France sont le Cameroun, la Tunisie, l'Algérie, le Bangladesh, le Pakistan, l'Afghanistan, l'Albanie, le Sénégal et le Maroc.

Ainsi, il s'agit de plusieurs milliers de mineurs isolés non accompagnés qui transitent dans le monde entier, pour fuir des climats de peur et d'insécurité.

Chapitre 2. Le mineur en droit pénal

En droit pénal, l'estimation de l'âge peut s'avérer primordiale pour garantir les droits et protections des individus mineurs. Bien qu'en principe, l'âge d'un individu soit facilement déterminable par des documents d'états civils, il peut parfois être difficile d'être certain de leurs fiabilités (falsification, usurpation d'identité...), ou ceux-ci peuvent être tout simplement manquants. Que le mineur soit auteur ou victime, l'identification de son âge va permettre d'appliquer le droit, différent en fonction des âges. S'il est auteur, il bénéficiera d'un régime dérogatoire. S'il est victime, l'auteur de l'infraction sera soumis à un régime de répression plus sévère.

A. Mineurs auteurs d'une infraction

L'âge de la responsabilité pénale correspond à l'âge pour lequel l'enfant est considéré comme suffisamment âgé pour être soumis au droit pénal. Il peut prendre la forme d'un âge absolue dans certains pays, sauf en France où cela dépend de la capacité de discernement de l'enfant (vers 10 ans en général). Il n'existe pas d'âge minimal de responsabilité pénal. Ainsi, un mineur ne peut être reconnu coupable s'il n'est pas capable de discernement. A contrario, un mineur de moins de 13 ans peut être reconnu coupable. En revanche, les sanctions seront adaptées en fonction de l'âge. Il est important de le différencier de l'âge de la majorité pénale qui lui, correspond à l'âge à partir duquel un délinquant relève du droit pénal commun (18 ans dans la plupart des pays de l'union européenne) [17].

Il est donc important de pouvoir déterminer l'âge d'un individu se disant mineur, en l'absence de papiers d'identités ou suspects de falsification, lorsqu'il est suspecté d'avoir commis une infraction, puisque cette estimation va permettre de décider des juridictions compétentes de jugements, d'adapter les peines encourues et cadrer les procédures de gardes à vue et détentions provisoires, en fonction de l'âge. Par ailleurs, ces mineurs auteurs seront pris en charge par des organismes spécialisés comme la brigade de protection des mineurs (service de la police judiciaire). En France, tous ces principes relèvent de l'ordonnance du 2 février 1945 [17]

B. Mineurs victimes d'une infraction

Alors que le législateur a créé des infractions spécifiques aux mineurs, les répressions d'infractions sur mineur sont plus sévères que lorsqu'elles sont commises sur un majeur [17].

Infraction spécifiques aux mineurs

Ici, la minorité est donc l'élément constitutif de l'infraction. Il peut s'agir de la protection de la santé comme la mise en péril de l'enfant (délaissement, privation d'aliments...) et la maltraitance, les atteintes à la moralité (incitation d'un mineur à commettre des infractions, atteintes au libres arbitres), les atteintes sexuelles (la corruption de mineur, les atteintes sexuelles sans violence, l'inceste, exploitation d'image pornographique...) et la protection du cadre de vie de l'enfant [17].

Une circonstance aggravante

Il s'agit là de considérer l'enfant comme une personne vulnérable dans le cadre de l'infraction. Il peut s'agir d'agressions physiques, sexuelles ou encore psychologiques [17].

Chapitre 3. Méthodes d'estimations de l'âge

A. L'âge osseux

L'estimation de l'âge osseux consiste à étudier le degré de maturation et de fusion des épiphyses des os longs [18], principal indicateur de la croissance d'un organisme. Elle se base sur l'étude de la minéralisation des pièces osseuses jusqu'à leur aspect définitif [19] visualisée à l'aide de technique d'imagerie de routine. Il a été montré dans les années 50 que les os longs les plus utiles à l'étude de la maturation osseuse se trouvaient être l'extrémité proximale de l'humérus, l'extrémité distale du radius, la tête fémorale, la crête iliaque et l'extrémité médiale de la clavicule [20].

Le développement d'un os long [21]

Les os longs sont formés :

- D'une diaphyse entourant la cavité médullaire,
- De deux épiphyses, aux extrémités de la diaphyse,
- De deux métaphyses, situées entre la diaphyse et l'épiphyse,
- D'un cartilage de conjugaison entre la métaphyse et l'épiphyse,
- D'une enveloppe, le périoste.

L'ostéogénèse des os longs se fait par ossification endochondrale, à partir d'une matrice embryonnaire cartilagineuse : le cartilage hyalin, durant la vie fœtale.

Au centre de la tige de ce cartilage hyalin va apparaître un centre d'ossification primaire.

A l'intérieur de ce centre, le cartilage va se calcifier par hypertrophie des chondrocytes et se désintégrer, par mort des chondrocytes, permettant l'envahissement de celui-ci par un bourgeon vasculaire afin de synthétiser de l'os spongieux. Ce centre d'ossification s'agrandira de part et d'autre vers les épiphyses et les ostéoclastes détruiront, presque aussi tôt, l'os spongieux afin de laisser place à un canal médullaire primitif.

Le reste du cartilage, notamment aux extrémités du cartilage hyalin, continuera à se développer afin de permettre la croissance en longueur de cette matrice, par division cellulaire.

A la naissance, les os longs sont donc constitués de deux épiphyses cartilagineuses et d'une diaphyse formée par de l'os compact en périphérie et creusée d'un canal médullaire afin d'y accueillir la moelle.

Il apparaît alors, des points d'ossification secondaire au niveau des épiphyses. A l'intérieur de ces centres d'ossification secondaire, le cartilage va se calcifier puis se détruire pour laisser place à un bourgeon vasculaire et permettre la synthèse de l'os spongieux.

A la fin de l'ossification primaire et secondaire, il persistera du cartilage hyalin à la surface de l'épiphyse (cartilage articulaire) et entre la diaphyse et l'épiphyse (cartilage de conjugaison).

Jusqu'à la fin de l'adolescence, l'os grandira en épaisseur à partir du périoste et en longueur à partir du cartilage de croissance par division cellulaire des chondrocytes.

Puis, à partir de l'adolescence, la division des chondrocytes des épiphyses diminue et le cartilage s'amincit afin de laisser totalement place à du tissu osseux.

L'os termine sa croissance lorsque la diaphyse se retrouve totalement fusionnée à l'épiphyse, le cartilage de conjugaison n'existe alors plus. [21]

Toutes ces étapes d'ossification sont finement régulées par des hormones.

L'hormone de croissance ou somatotropine, sécrétée par l'adénohypophyse (ou glande pituitaire) et contrôlée par l'hypothalamus, permettra le développement en longueur du cartilage de conjugaison, lors de la petite enfance. Tandis qu'à l'adolescence, ce sont les hormones sexuelles (testostérones et œstrogènes) qui provoqueront la poussée de croissance, bien connue chez les adolescents, ainsi que la fusion métaphyso-épiphysaire, point final de l'ossification. [21].

Ainsi, toutes ces étapes d'ossification peuvent se voir retardées ou avancées, sous l'influence de ces hormones.

Il était dans l'ordre des choses d'étudier ce développement osseux en radiographie dès que celle-ci fut découverte en 1895 par un physicien allemand, Röntgen, qui réalisera son premier cliché sur la main de son épouse [22].

Les premiers centres de radiologie ouvraient en 1896 et les premières études sur l'imagerie du développement osseux apparaissaient [22].

De nombreux auteurs ont ensuite intéressés l'apparition des centres d'ossifications et leurs fusions en fonction des âges à l'aide de radiographies [23-27].

En 1937, Todd [28] publie le premier Atlas sur la maturation osseuse de la main, regroupant un ensemble de clichés radiologiques de la main pour chaque âge et chaque sexe. Il sera ensuite revisité par Greulich et Pyle en 1950. Ces Atlas ont été réalisés en sélectionnant une radiographie la plus représentative d'une classe d'âge [29].

Il existe un grand nombre de méthodes afin de mesurer cette maturation osseuse [21] :

- Les méthodes qualitatives : elles étudient l'apparence des points d'ossification pour une articulation et un âge donné ou des tranches d'âges données, répertorié dans des Atlas de référence ou des tableaux de contingences (Atlas de Greulich et Pyle [29], Schmeling [30]). Il s'agit des méthodes les plus utilisés à l'heure actuelle. [21]
- Les méthodes quantitatives : ces méthodes ne se basent pas sur l'évolution dans le temps des centres d'ossification mais sur leurs nombres d'apparition, à un moment donné, sur la moitié ou l'ensemble d'un squelette. Ces méthodes ne sont plus utilisées (Lefebvre et Koifman, 1956 [31]) du fait de leur caractère très irradiant. [21]
- Les méthodes de cotation : il s'agit ici de pondérer chaque stade de développement osseux par un coefficient puis de les totaliser (Sauvegrain 1962 [32], Tanner et Whitehouse 1962 [33]). Ces méthodes sont néanmoins peu utilisées puisque chronophages et complexes. [21]

Principales méthodes d'imageries pour l'estimation de l'âge

- La méthode de Greulich et Pyle [29] :

Il s'agit de la méthode la plus connue et la plus utilisée. Elle consiste à étudier le degré de maturation des centres d'ossifications de l'extrémité distale du radius et de l'ulna, des os du carpe et des phalanges, sur une radiographie de face du poignet et de la main gauches (par convention), puis de comparer celle-ci à un Atlas. L'Atlas est composé de différents clichés radiographiques, pour chaque sexe, à intervalle de 3 mois pour la première année, de 6 mois de 1 an jusqu'à 15 ans puis une par an jusqu'à 18 ans pour la fille et 19 ans pour le garçon. Cette méthode est construite à partir de radiographies du poignet et de la main gauche, réalisées à des dates régulières, sur 1000 individus nord-américains de classe socio-économique élevée, entre 1931 et 1942 et a été publiée dans les années 50.

Il est important de noter que cette méthode s'avère peu pertinente au-delà de 16 ans, puisqu'il a été montré qu'un enfant pour lequel une fusion complète (planche 19 ans chez le garçon ou 18 ans chez la fille) est observée peut exceptionnellement être âgé de 16 ans minimum [34,35]. Ainsi cette méthode doit être adaptée en tenant compte notamment des résultats de l'étude récente de K Chaumoitre [34].

- La méthode de Schmeling [30] et Kellinghaus [36]

Cette méthode repose sur l'étude de l'épiphyse médiale de la clavicule. Cette partie anatomique du corps humain est le point final de la croissance d'un individu, puisque la clavicule est le dernier os à fusionner.

L'estimation de l'âge à l'aide de la clavicule s'est faite initialement sur des squelettes ou des autopsies [37-41]. Puis elle a été étudiée en imagerie, par Jit en 1976 [42] ou encore Kreitner en 1998 [43] pionnier du scanner de clavicule, à des fins d'estimation de l'âge chez le sujet vivant. Malheureusement, cette étude comportait un biais important, puisqu'elle ne différenciait pas le sexe féminin du sexe masculin alors que la croissance varie entre les deux sexes [44] minimisant son utilisation comme méthode de référence pour l'estimation de l'âge.

C'est en 2004 que Schmeling [30] s'intéresse à l'utilisation du degré d'ossification de l'épiphyse médiale des clavicules dans un but médico-légal. Schmeling et son équipe ont travaillé sur 699 radiographies, réalisées sur des personnes allemandes, âgées de 16 à 30 ans. Il proposera également sa classification, en 5 stades :

- Stade 1 : le centre d'ossification est non visible
- Stade 2 : le centre d'ossification est visible, il n'existe pas de fusion épiphyso-métaphysaire
- Stade 3 : il existe une fusion partielle de l'épiphyse à la métaphyse
- Stade 4 : il existe une fusion complète de l'épiphyse à la métaphyse, une cicatrice épiphysaire est visible
- Stade 5 : il existe une fusion complète de l'épiphyse avec l'absence de visualisation d'une cicatrice visible

Schmeling retrouvait un âge minimum de 16,7 ans chez l'homme et 16 ans chez la femme pour un stade 3, de 21,3 chez l'homme et 20 ans chez la femme pour un stade 4 d'ossification et de 26 ans chez l'homme et 26,7 ans chez la femme pour un stade 5.

En 2005, Schultz [45] a adapté cette classification au scanner. Pour cela, il a étudié 629 scanners, de manière rétrospective, réalisés dans un hôpital Berlinois, initialement lors de pathologies traumatiques, chez des personnes âgées de 15 à 30 ans.

Alors qu'il a obtenu des résultats plutôt similaires à Schmeling [30] pour les stades 3 et 4, le stade 5 était atteint dès l'âge de 21 ans chez la femme et 22 ans chez l'homme, soit 5 ans de

moins que dans l'étude de Schmeling [30]. L'une des explications proposées par Schultz [45] face à ce résultat est l'épaisseur de coupe trop importante dans l'étude de Schmeling [30], masquant certaine partie fine de la clavicule. Schulz [45] recommandait donc de réaliser des lectures de scanner de clavicules sur des épaisseurs de coupe de 1 millimètre (ce qui a été confirmé dans une étude réalisée par Mühler en 2006 [46]).

En 2010, Kellinghaus [36] reprend la classification de Schmeling [30] afin de préciser certaines étapes d'ossification au scanner et d'affiner les tranches d'âges pour chaque stade, notamment déterminer un stade où la minorité peut être exclue, problème central pour une estimation d'âge dans un contexte juridique.

Les stades 2 et 3 seront subdivisés de « a » à « c » :

- Stade 1 : le centre d'ossification est non visible
- Stade 2 : le centre d'ossification est visible
 - Stade 2a : Longueur épiphyse inférieur ou égale à 1/3 de la métaphyse
 - Stade 2b : Longueur épiphyse allant de 1/3 à 2/3 de la métaphyse
 - Stade 2c : Longueur épiphyse supérieure à 2/3 de la métaphyse
- Stade 3 : fusion partielle de l'épiphyse
 - Stade 3a : fusion épiphyso-métaphysaire inférieure ou égale à un tiers
 - Stade 3b : fusion épiphyso-métaphysaire entre un et deux tiers
 - Stade 3c : fusion épiphyso-métaphysaire couvrant plus de deux tiers
- Stade 4 : fusion complète de l'épiphyse, une cicatrice épiphysaire est visible
- Stade 5 : fusion complète de l'épiphyse, absence de cicatrice visible

Cette étude a permis d'affirmer le caractère majeur d'un individu dès le stade 3c avec un âge minimum de 19,7 ans chez l'homme et 19,5 chez la femme.

Cependant, en 2014, Wittschieber [47] a réalisé une étude prospective sur des clavicules provenant d'autopsies, afin d'évaluer la reproductibilité des tranches d'âge retrouvé par Kellinghaus [36]. Pour cela, il a utilisé des tranches de 0.6 mm d'épaisseur au scanner pour tous les cas afin de diminuer les potentiels biais dû à la distorsion d'images, grande différence avec l'étude de Kellinghaus [36] qui a inclus des scanners de manière rétrospective avec des épaisseurs de coupe variables.

Ainsi, il retrouvait des tranches d'âges identiques à Kellinghaus [36] pour les stades 3c et 5.

En revanche les stades 3a et 3b s'observait un an plus tôt, certainement par une visualisation plus précise des ponts osseux.

Autres Méthodes

- La méthode de Tanner et Whitehouse [33,48,49]

Cette méthode reste, à l'heure actuelle, peu utilisée du fait de sa complexité et sa durée d'apprentissage importante.

- La méthode de Risser [50,51]

L'un des gros désavantages de cette technique est l'irradiation d'une zone gonadique. Cette implication est à prendre en compte pour les estimations de l'âge dans un cadre juridique puisqu'il n'existe aucun bénéfice thérapeutique et un risque d'irradiation non nul. C'est pourquoi cette technique n'est pas utilisée à des fins médico-légales.

- La méthode de Sauvegrain [32,52]

B. L'âge dentaire

L'âge dentaire s'évalue grâce à l'éruption des dents permanentes, le degré de résorption radiculaire de la dent primaire et l'état de développement de la racine des dents permanentes.

Le développement dentaire

La dent est constituée d'une couronne, d'un collet et d'une racine.

L'homme est hétérodonte (denture composée d'incisives, canines, prémolaires et molaires) et diphyodonte, c'est-à-dire qu'il possède deux dentitions successives :

- Une dentition temporaire ou déciduale constituée de 20 dents (4 incisives centrales, 4 incisives latérales, 4 canines, 4 premières prémolaires et 4 deuxièmes prémolaires).

Les incisives centrales apparaissent entre 6,5 mois et 7,5 mois, les incisives latérales entre 7 et 8 mois, les canines entre 16 et 20 mois, les premières prémolaires entre 12 et 16 mois et les deuxièmes prémolaires entre 20 et 30 mois [53].

- Et une dentition définitive, permanente, constituée de 32 dents (4 incisives centrales, 4 incisives latérales, 4 canines, 4 première prémolaire, 4 deuxième prémolaire, 4 première molaire, 4 deuxième molaire et 4 troisième molaire).

Les incisives centrales apparaissent entre 6 et 8 ans, les incisives latérales entre 7 et 9 ans, les premières prémolaires entre 9 et 12 ans, les deuxièmes et troisièmes entre 10 et 12 ans, la première molaire entre 6 et 7 ans, la deuxième molaire entre 11 et 13 ans et la troisième molaire entre 17 et 21 ans [53].

Les méthodes d'interprétation

Avant 15 ans, l'âge dentaire est le meilleur indicateur de l'âge réel d'une personne que ce soit par l'étude de l'éruption dentaire ou l'étude des clichés radiographiques [19].

Au-delà de 15 ans, toutes les dents définitives sont installées sauf la 3^{ème} molaire encore en cours de croissance. Pour cela, de nombreuses études ont été réalisées sur l'évolution du germe de la 3^{ème} molaire afin d'estimer l'âge d'un individu dans la période charnière de 15 à 21 ans. De manière conventionnelle, cette dent finit de se développer entre 17 et 21 ans [53].

- La méthode de Demirjian [54] :

Cette méthode datant de 1973 établit une classification en 8 stades, rapporté à un score numérique, pour chaque groupe de dents (incisive central, incisive latéral, canine, 1^{er} prémolaires, 2^{ème} prémolaire, 1^{ère} molaire, 2^{ème} molaire, excluant la 3^{ème} molaire trop variable) mandibulaires gauches. Chaque score est ensuite additionné pour donner un score total traduit en âge à l'aide de tableau de correspondance.

Pour chaque stade, nous retrouvons [54] :

Stade A (Score 1): Début de calcifications des cuspidés au niveau de la crypte supérieure, apparaissant comme un cône inversé. Il n'existe pas de fusion entre ces calcifications.

Stade B (Score 2): Fusion des points de calcifications formant une ou plusieurs cuspidés dessinant une surface occlusale régulière.

Stade C (Score 3): Formation complète de l'émail occlusal. Extension et convergence de l'émail en direction cervicale. Début de dépôt de dentine. Apparition de contours courbes de la chambre pulpaire.

Stade D (Score 4) : Formation complète de la couronne jusqu'à la jonction amélo-placentaire. La limite supérieure de la chambre pulpaire des dents monoradiculées présente une forme courbe, concave au niveau cervical. La chambre pulpaire a une forme trapézoïde. Début de formation de la racine en forme de spicule.

Stade E (Score 5):

Pour les dents monoradiculées : Les parois de la chambre pulpaire forment des lignes droites, rompues par les corps pulpaires. La longueur de la racine est moins importante que celle de la couronne.

Pour les dents pluriradiculées : Apparition de la furcation radiculaire, sous forme de demi-lune. La longueur de la racine est moins importante que celle de la couronne.

Stade F (Score 6) :

Pour les dents monoradiculées : Les chambres pulpaires forment des triangles, sommet en forme d'entonnoir. La longueur de la racine est égale ou plus grande que celle de la couronne.

Pour les dents pluriradiculées : La partie calcifiée de la furcation forme les racines et donne à leurs apex, une forme d'entonnoir. La longueur de la racine est égale ou plus grande que celle de la couronne.

Stade G (Score 7) : Les parois pulpaires sont parallèles. L'apex est partiellement ouvert (surtout pour les racines distales des molaires).

Stade H (Score 8) : L'apex est complètement fermé. Le parodonte a une largeur uniforme autour de la racine et de l'apex.

Il existe aussi le stade 0 (Score 0) quand il n'y a aucune calcification (Stade de crypte).

Cette étude portait sur des radiographies de panoramiques dentaires de 1446 garçons et de 1482 filles âgés de 2 à 20 ans et d'origine Franco-canadienne. Pour tous les individus, homme ou femme, la totalité des dents étaient définitivement développés à 16 ans. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette technique chez des personnes de plus de 16 ans, afin d'estimer leur âge. Il existait une maturité globalement plus avancée chez la femme par rapport à l'homme. L'autre inconvénient de cette technique est son utilisation sur des individus ne possédant pas la totalité des dents étudiés (dents cassées, agénésie dentaire...).

Au-delà de 16 ans, persiste le développement de la 3^{ème} molaire mais celle-ci n'était pas incluse dans la technique de Demirjian [54], puisque bien souvent absente congénitalement, malformée ou extraite. Elle s'avère aussi être la dent la plus variable, en terme de taille, de temps de formation et temps d'éruption [55-58]. Un certain nombre d'études s'est donc ensuite intéressé aux stades de développement de la 3^{ème} molaire comme Mincer [59] et Olze [60], afin d'estimer des âges au-delà de 16 ans, à l'aide de l'orthopantomogramme.

- Interprétation selon Mincer [59]

En 1993, Mincer s'est donc attaché à étudier le stade de développement, selon la classification de Demirjian [54], au niveau de la 3^{ème} molaire afin d'affiner l'estimation de l'âge par le panoramique dentaire et l'utiliser à des fins médico-légales.

Pour cela, il a étudié le développement des 3^{èmes} molaires sur 823 cas de panoramique dentaires, d'hommes et de femmes, âgés de 14 à 25 ans, de type caucasöide et africaine. Cependant, aucun résultat statistique n'a pu être établi dans la population africaine par manque de sujets éligibles.

L'âge moyen minimum de 18 ans était atteint dès le stade F pour les maxillaires chez la femme de type caucasienne et dès le stade G pour les mandibulaires et maxillaires, chez l'homme et la femme de type caucasoïde.

En revanche, après application des écarts types, l'âge minimum pour chaque stade n'atteignait jamais les 18 ans (sur un intervalle d'environ 8 ans).

Devant la connaissance d'une asymétrie droite/gauche [57, 61, 62], Mincer recommande de faire une moyenne des deux côtés lorsqu'il existe une grande asymétrie.

Il a pu également constater un développement plus rapide pour les molaires maxillaires par rapport au mandibulaire, retrouvée dans des études précédentes [55-58].

Contrairement aux autres dents, la 3^{ème} molaire se développait plus précocement chez l'homme, résultats identiques à ceux de Levesque et al [63].

- Interprétation selon Olze [60]

Cette étude s'est basée sur 553 orthopantomogrammes, provenant du département de pathologie buccal entre 1992 et 2002, soit 437 hommes et 116 femmes, d'Afrique du Sud, âgés de 10 à 26 ans.

Il semble que cette méthode soit à privilégier sur celle de Mincer [59], puisque celle-ci repose sur l'étude d'une population africaine exclusivement.

De nombreuses études préalables ont pu démontrer un développement et une éruption plus précoce chez les sujets de type africain par rapport aux caucasiens [64-66].

Les tests statistiques n'ont pu être réalisés que sur les hommes par manque de sujet féminin.

Il est par ailleurs accepté que la maturité dentaire soit plus avancée chez la femme [54-56].

Pour chaque stade et 3^{ème} molaire étudiée, l'âge minimum n'a jamais atteint la majorité permettant d'être discriminant sur le plan médico-légal.

Là aussi, cette étude présentait de nombreuses limites par son manque de puissance.

- La méthode de Cameriere [67]

Se basant sur l'étude des sept dents mandibulaires gauches, il s'agit d'une méthode largement étudiée dans la littérature mais les résultats ne semblent pas plus fiables que la méthode de Demerjian, tout en étant plus complexe [68-70].

- La méthode de Gleiser et Hunt 1955 [71]

De nombreux auteurs s'intéresseront à l'application des stades de développement de Gleiser et Hunt [71], tels que : Nolla en 1960 [57] Fanning en 1962 [72] et Moorrees en 1963 [73].

C. L'âge pubertaire

L'âge pubertaire consiste en l'étude du développement des caractères sexuels d'un individu féminin ou masculin par l'observation de la pilosité pubienne, du développement mammaire chez les filles, et du développement des organes génitaux externes chez les garçons [74-76]. En moyenne, la puberté débute entre 8 et 13 ans chez la fille et entre 9 et 14 ans chez le garçon. On parle de puberté précoce lorsqu'un développement mammaire apparaît avant 8 ans chez la fille et lorsque le volume testiculaire augmente avant l'âge de 9 ans.

Depuis la loi de 2016, cette estimation n'est plus utilisée en médecine légale.

D. Le rôle du médecin légiste

Ainsi donc, qu'il s'agisse d'un mineur étranger non accompagné, d'un mineur auteur ou victime d'une infraction, si des doutes sérieux persistent sur l'identité d'un individu et son âge (absence de documents d'identité, falsification, usurpation...), la justice peut faire appel aux médecins légistes afin d'estimer celui-ci.

Actuellement, il n'existe aucune méthode permettant de déterminer l'âge exact d'un individu. C'est pourquoi le médecin doit tenter de déterminer l'âge biologique de l'individu afin de se rapprocher au plus près de son âge réel. En réalité le médecin doit se prononcer sur la compatibilité entre l'âge allégué par la personne et l'âge osseux qu'il détermine. Il devra ainsi estimer l'âge minimum possible de l'individu.

L'âge réel ou l'âge chronologique correspond au temps écoulé depuis la date de naissance d'un individu, alors que l'âge biologique correspond au vieillissement biologique et physiologique du corps humain. Cet âge biologique peut donc être égal à l'âge réel, mais aussi s'avérer plus jeune ou plus vieux.

En effet, certaines pathologies peuvent influencer sur l'âge biologique en entraînant des retards de croissance voir des accélérations. Si le retard de développement n'entraîne pas de conséquences néfastes sur le plan juridique, il ne faut pas surestimer l'âge d'un individu souffrant d'une accélération du développement. Ces troubles sont peu fréquents mais, on peut retrouver des troubles endocriniens affectant la taille, la maturation sexuelle ou encore la maturation osseuse, tel que la puberté précoce ou encore une hyperthyroïdie. Il est donc important de rechercher des signes cliniques d'un trouble du développement (acromégalie, nanisme...) avant d'essayer d'estimer un âge biologique.

Ainsi, afin de déterminer ce vieillissement, il existe des techniques morphométriques et morphologiques comme l'âge osseux, l'âge dentaire ou encore l'âge pubertaire.

L'âge osseux se base sur la maturation du squelette en étudiant le cartilage de conjugaison, présent au niveau des épiphyses et est essentiellement réalisé sur les os longs du corps.

L'âge dentaire repose sur l'apparition des dents déciduales et définitives, mais aussi sur l'étude de la minéralisation de la couronne, du développement de la racine et de son apexification. Pour l'âge pubertaire, il s'agit d'évaluer l'apparition et le développement des caractères sexuels secondaires. Il est important de savoir que ces méthodes ont initialement été introduites pour les cliniciens endocrinologues, chirurgiens orthopédiques et/ou pédiatres, dans le but de diagnostiquer et traiter des anomalies de la croissance et de la puberté. Ainsi la découverte d'un âge osseux inférieur à l'âge réel, peut signifier un retard de croissance, et inversement et peut donc fausser l'estimation de l'âge réel d'un individu. Ces techniques doivent être utilisées avec prudence par les médecins légistes et adaptés pour une utilisation médico-légale.

Sur le plan international, aucune démarche n'est plus recommandée qu'une autre. En effet, le Haut-commissariat des Nations Unies pour les réfugiés [6] ne se prononce pas sur les méthodes à utiliser, il précise juste qu'une telle estimation doit « tenir compte non seulement de l'aspect physique de l'enfant mais aussi de sa maturité psychologique » et que lorsque « des procédures scientifiques sont utilisées pour déterminer l'âge de l'enfant, des marges d'erreur doivent être tolérées ». Ces méthodes ne doivent, entre autres, présenter aucun danger et doivent respecter la dignité humaine.

Cependant le Study Group on Forensic Age Diagnostics (AGFAD) recommandent la réalisation [77]:

- D'un examen physique en reprenant des données anthropométriques tel que le poids et la taille, un examen des caractères sexuels secondaires et la détection d'éventuelles pathologies pouvant jouer sur la croissance de l'individu (antécédents médicaux et chirurgicaux, prise de traitements).
- Un examen par radiographie de la main et du poignet gauches (ou droite pour les gauchers)
- Un examen clinique de la dentition et un orthopantomogramme
- Une imagerie de la clavicule (par radiographie standard ou scanner) lorsqu'il existe un développement complet de la main et du poignet étudiés

L'examen médical comprend un interrogatoire (antécédents médicaux, prise de traitements...) et un examen clinique (poids, taille, indice de masse corporel) afin d'éliminer une pathologie préexistante qui pourrait influencer la croissance, une évaluation de la dentition dont la réalisation d'un orthopantomogramme, une radiographie du poignet et de la main gauches rapportée à l'Atlas de Greulich et Pyle [29], ainsi qu'un scanner de clavicules lorsque les os du poignet et de la main gauche apparaissent entièrement fusionnés, en utilisant la classification de Schmeling [30] et Kellinghaus [36].

Il est en revanche interdit de réaliser un examen des caractères sexuels secondaires et de prédire un âge pubertaire, selon l'article 388 du code civil modifié par la loi du 14 mars 2016 n° 2016-297 [10].

Cet article mentionne :

- « *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 »*

Au sein du CHRU de Nancy :

- La radiographie du poignet et de la main gauches est interprétée selon la méthode de l'Atlas de Greulich et Pyle [29], et les résultats sont pondérés selon les résultats de l'étude de Chaumoître [34].
- Sur l'orthopantomogramme, le stade de développement des 3èmes molaires est étudié selon la classification de Demirjian [54]. Puis le stade est rapporté aux résultats de l'étude de Mincer [59] ou celle de Olze [60]. La méthode de Olze [60] semble à privilégier puisqu'elle s'est basée sur l'étude d'une population africaine, mais applicable aux hommes seulement. Si l'étude de Mincer [59] est utilisée, il faut alors privilégier les 3èmes molaires mandibulaires.
- L'interprétation du scanner de clavicule se fait à l'aide de la classification de Schmeling [35] et Kellinghaus [36], appliqué aux résultats de Wittschieber [47].

Des rapports d'expertises médicales types réalisés au CHRU de Nancy sont présentés en annexe 1.

ARTICLE: ETUDE CLIVAGE

CLavicular ossification – Inter/intra-observer Variability – AGE Estimation

EVALUATION OF INTER AND INTRA-OBSERVER VARIABILITY DURING OSSIFICATION STAGE OF THE MEDIAL CLAVICULAR EPIPHYSIS BY COMPUTED TOMOGRAPHY

Eugénie Chevalme, Elodie Marchand, Thomas Remen, Alain Blum, Laurent Martrille

Abstract

Introduction: Computed tomography (CT) of the medial clavicular epiphysis is a method recommended by the Study Group on Forensic Age Diagnostics (AGFAD), when the left wrist is completely ossified in standard radiography. The present study assesses the inter- and intra-observer variability during the ossification stage of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography.

Materials and methods: The use of Schmeling (2004) and Kellinghaus (2010) classification is compared between several forensic medical examiners from a forensic unit and an experienced examiner. This is a retrospective study consisting of 381 CT-scans of clavicles, performed for age estimation. The agreement coefficient was calculated using Gwet's AC2 test.

Results: The inter-observer agreement was good for Schmeling's classification (Gwet's AC2 = 0.71 [0.66–0.75]) and moderate for Kellinghaus's classification (Gwet's AC2 = 0.56 [0.47–0.64]). For the intra-observer agreement, it was very good for Schmeling's classification (Gwet's AC2 = 0.91 [0.86–0.95]) and good for Kellinghaus's classification (Gwet's AC2 = 0.84 [0.77–0.91]).

Conclusion: Despite the acceptable agreement coefficients in our study, confusion persists between stages of classification. Artifacts on CT and a lack of training and practices may explain these errors.

Keywords: forensic age estimation, Schmeling's method, medial clavicular epiphysis, computed tomography, inter-observer error

Introduction

Estimating the age of living young people is a common mission of legal medicine services in many countries.

In law, the age of an individual is essential to define and guarantee the rights and protections specific to certain age groups, including minors.

If there is doubt about the age of an individual (due to a lack of identity documents, falsification, usurpation, etc.), the justice can request an expert to estimate the age of these individuals.

These experts are mainly involved in the care of unaccompanied minors, but they may also become involved in criminal proceedings when a minor is the perpetrator or victim of an infraction.

In France, these assessments are necessarily carried out in a forensic unit.

Today, there is no way to determine the real age of an individual; medical examiners are asked to determine his/her biological age and to draw any conclusions they can about the current age. Many authors have studied the ossification of the medial epiphysis of the clavicle to respond to justice concerning the age estimation [1–4].

Initially, five stages of fusion of the proximal epiphysis of the clavicle were described in standard radiography by Schmeling et al. in 2004 [2] and then adapted to the scanner by Schulz et al. in 2005 [3]. Then, stages 2 and 3 were divided into substages by Kellinghaus et al. in 2010 [4].

Following current literature [4–6], we can say that an individual is over the age of 18 as soon as he/she is at stage 3c on computed tomography (CT).

Therefore, the Study Group on Forensic Age Diagnostics (AGFAD) of the German Society of Legal Medicine recommends conducting a physical examination (height, weight, clinical signs of stunting...), a dental examination with a panoramic view, a radiographic examination of the left hand, and a radiographic or CT examination of the clavicles when the cartilages of the left hand and wrist are completely ossified [7].

Although there are many studies evaluating the reproducibility of results for CT of clavicles, there is a lack of data concerning inter- and intra-observer variabilities for this specific examination, as previously highlighted by Wittschieber et al. in 2014 [8].

The main objective in our study is to evaluate the agreement rate between an experienced examiner and all physicians in the forensic unit of the Nancy Regional University Hospital Center (France) concerning the determination of the ossification stage in computed tomography of the medial clavicular epiphysis.

In addition, it also aims to identify the most common discordances between stages.

Materials and methods

Selection

This is a retrospective, monocentric study that includes all age estimation expertises mandated by the judicial authorities between 01/01/2013 and 30/03/2020 for which a CT scans of clavicles was realized in the forensic unit of the Nancy Regional University Hospital Center.

The exclusion criteria were the existence of a growth pathology (dysmorphic syndrome, endocrine pathology, parental and nutritional pathology), a lack of computed tomography, or a lack of determination of the ossification degree by the medical examiner in the files.

All data were completely anonymized before the start of the study, making identification impossible. Out of a total of 616 files studied, 235 were excluded. We included a total of 381 files.

Design study

For each file included, we noted the ossification stage of the medial clavicular epiphysis determined by the medical examiners of the Nancy Forensic Unit using Schmeling's [2] or Kellinghaus's [4] classification when available.

Schmeling's classification [2] was as follows:

Stage 1: Ossification center has not ossified yet.

Stage 2: Ossification center has ossified. Epiphyseal cartilage has not ossified.

Stage 3: Epiphyseal cartilage has partially ossified.

Stage 4: Epiphyseal cartilage has completely ossified. Epiphyseal scar is visible.

Stage 5: Epiphyseal cartilage has completely ossified. Epiphyseal scar is not visible anymore.

Stages 2 and 3 were divided in Kellinghaus's classification [4]:

Stage 2a: The lengthwise epiphyseal measurement is one third or less of the widthwise measurement of the metaphyseal ending.

Stage 2b: The lengthwise epiphyseal measurement is between one and two thirds of the widthwise measurement of the metaphyseal ending.

Stage 2c: The lengthwise epiphyseal measurement is over two thirds of the widthwise measurement of the metaphyseal ending.

Stage 3a: The epiphyseal–metaphyseal fusion fills one third or less of the former gap between the epiphysis and metaphysis.

Stage 3b: The epiphyseal–metaphyseal fusion fills between one and two thirds of the former gap between the epiphysis and metaphysis.

Stage 3c: The epiphyseal–metaphyseal fusion fills over two thirds of the former gap between the epiphysis and metaphysis.

Each computed tomography of clavicles has been checked by an experienced examiner, blind to the initial classification determined by the medical examiners in order to identify the stage of ossification using Schmeling's classification first and then Kellinghaus's classification.

After a two-week period, 100 of the 381 computed tomography images included were randomized, then reviewed by the experienced examiner, blind to the results of previous evaluations of the ossification stages, in the same initial conditions.

There were 15 medical examiners in the forensic unit. We believed that their expertise corresponded to the global response of the forensics department as a unique expert entity.

It's for this reason that the comparison was first made overall, then by each physician.

All medical examiners were trained in a common and identical manner in the Forensic Unit of the Nancy Regional University Hospital Center based on literature and practical cases. They have several years of practice.

The experienced expert has received further training in other hospital-university referral centers.

Image acquisition

Between 2013 and 2020, computed tomography protocols for age estimation have evolved in the Nancy Regional University Hospital Center.

Algorithms have improved over time and exposure parameters have been reduced, with the aim of minimizing the radiation dose to the individuals and respect the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principles.

From 2013 to 2019, the acquisition of images was realized with a 320-row multidetector Toshiba® Aquilion ONE computed tomography system (FOV 150 mm, 120 kV, 125 mA, rotation time of 0.5 s, FC30 kernel).

From 2019, images were acquired using a 320-row multidetector Canon® GENESIS computed tomography system (FOV 150 mm, 120 kV, 280 mA, rotation time of 0.275 s, FC30 kernel).

The acquisition volume was limited to 4 cm and the thickness of slices ranged from 0.25 to 0.5 mm.

Until 2017, only coronal multiplanar reconstructions (MPR) were added to the original slices. Since 2018, axial 1.00 mm thick MPR were also performed in order to provides images with a better signal-to-noise ratio.

During the acquisition of images, the patient was in a dorsal decubitus position, the arms raised above their head, held by a support.

Statistical analyses

The agreement coefficient was calculated using Gwet's AC2 test [9], a more stable and accurate alternative to Cohen's kappa weighted coefficient [10,11], between:

- the response given to the judicial authorities by the Forensic Unit of Nancy (including the 15 medical examiners, forming a single entity) and the experienced examiner.
- each medical examiner and the experienced examiner, to assess the variability of the responses between them;
- the two readings of the experienced examiner in order to assess intra-observer variability.

For interpreting Gwet's AC2 values, the system proposed by Altman [12] was used [13]:

< 0.20, poor agreement
0.21–0.40, fair agreement
0.41–0.60, moderate agreement
0.61–0.80, good agreement
0.81–1.00, very good agreement

The weight matrix used to calculate Gwet's AC2 for Schmelting's and Kellinghaus's classifications is shown in Tables 1a and 1b.

Table 1a. The weight matrix used to calculate Gwet’s AC2 for Schmeling’s classifications

| | | | | | | |
|---------|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| | NA | Stage 1 | Stage 2 | Stage 3 | Stage 4 | Stage 5 |
| NA | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stage 1 | 0 | 1 | 0,75 | 0,50 | 0,25 | 0 |
| Stage 2 | 0 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,50 | 0,25 |
| Stage 3 | 0 | 0,50 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,50 |
| Stage 4 | 0 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1 | 0,75 |
| Stage 5 | 0 | 0 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1 |

Table 1b. The weight matrix used to calculate Gwet’s AC2 for Kellinghaus’s classifications

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | NA | Stage 1 | Stage 2a | Stage 2b | Stage 2c | Stage 3a | Stage 3b | Stage 3c | Stage 4 | Stage 5 |
| NA | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stage 1 | 0 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,357 | 0,25 | 0 |
| Stage 2a | 0 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,357 | 0,107 |
| Stage 2b | 0 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,214 |
| Stage 2c | 0 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,321 |
| Stage 3a | 0 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,429 |
| Stage 3b | 0 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,536 |
| Stage 3c | 0 | 0,357 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,643 |
| Stage 4 | 0 | 0,25 | 0,357 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,75 |
| Stage 5 | 0 | 0 | 0,107 | 0,214 | 0,321 | 0,429 | 0,536 | 0,643 | 0,75 | 1 |

NA = Not Assessable

Significance was assessed at $p < 0.05$.

Then, the number of cases that could potentially change the conclusion about the minority or the majority of individuals was assessed.

Results

Among all the cases included, the medical examiners of the Nancy Forensic Unit used Schmeling’s classification in 381 cases and Kellinghaus’s classification in 215 cases.

Inter-observer variability (table 2)

For Schmeling’s classification, a good agreement was found between medical examiners of the Nancy Forensic Unit and the experienced examiner (AC2 = 0.71; 44% of cases were misclassified or 168 cases out of 381).

For Kellinghaus’s classification, a moderate agreement was found (AC2 = 0.56; 56% of cases were misclassified or 121 cases out of 215).

Table 2. Agreement coefficient between the medical examiners of the Nancy Forensic Unit and the experienced examiner.

| | AC2 | N (%) | Confidence Interval |
|-------------------------------------|------|----------|---------------------|
| Schmeling’s classification | 0.71 | 168 (44) | [0.66–0.75] |
| Kellinghaus’s classification | 0.56 | 121 (56) | [0.47–0.64] |

AC2 = Agreement coefficient Gwet’s AC2

N = Absolute Number

% = Percentage of misclassified cases

An agreement coefficient was calculated between the 15 medical examiners of the Nancy Forensic Unit and the experienced examiner.

Gwet's AC2 varied from 0.26 to 0.83 for Schmeling's classification (table 3) and from -0.14 to 0.74 for Kellinghaus's classification (table 4).

Table 3. Inter-observer agreement by medical examiner of Nancy Forensic Unit for Schmeling's classification

| | AC2 | N (%) | Confidence Interval |
|------------------|------------|--------------|----------------------------|
| Doctor 1 | 0.73 | 7(43.8) | [0.49–0.96] |
| Doctor 2 | 0.65 | 15(57.7) | [0.48–0.82] |
| Doctor 3 | 0.69 | 32(50.8) | [0.58–0.80] |
| Doctor 4 | 0.60 | 13(52) | [0.37–0.83] |
| Doctor 5 | 0.78 | 17(37) | [0.66–0.90] |
| Doctor 6 | 0.72 | 29(50.9) | [0.62–0.83] |
| Doctor 7 | 0.68 | 18(31) | [0.52–0.84] |
| Doctor 8 | 0.64 | 4(50) | [0.33–0.95] |
| Doctor 9 | 0.26 | 3(60) | [-0.68–1] |
| Doctor 10 | 0.53 | 8(57.1) | [0.19–0.86] |
| Doctor 11 | 0.63 | 7(41.2) | [0.33–0.93] |
| Doctor 12 | 0.65 | 1(25) | [-0.48–1] |
| Doctor 13 | 0.58 | 5(41.7) | [0.15–1] |
| Doctor 14 | 0.83 | 6(25) | [0.67–0.99] |
| Doctor 15 | 0.31 | 3(50) | [-0.62–1] |

AC2 = Agreement coefficient Gwet's AC2; N = Absolute Number; % = Percentage of misclassified cases

Table 4. Inter-observer agreement by medical examiners for Kellinghaus's classification

| | AC2 | N (%) | Confidence Interval |
|------------------|------------|--------------|----------------------------|
| Doctor 1 | 0.60 | 7(50) | [0.26–0.93] |
| Doctor 2 | 0.59 | 10(58.8) | [0.30–0.88] |
| Doctor 3 | 0.74 | 12(46.2) | [0.54–0.94] |
| Doctor 4 | 0.52 | 13(65) | [0.21–0.82] |
| Doctor 5 | 0.49 | 20(74.1) | [0.24–0.74] |
| Doctor 6 | 0.57 | 14(56) | [0.35–0.79] |
| Doctor 7 | 0.54 | 16(48.5) | [0.28–0.79] |
| Doctor 8 | 0.71 | 3(50) | [0.29–1] |
| Doctor 9 | - 0.14 | 4(80) | [-1–0.89] |
| Doctor 10 | 0.53 | 5(55.6) | [0.01–1] |
| Doctor 11 | 0.51 | 3(50) | [-0.06–1] |
| Doctor 12 | NI | 0(0) | NI |
| Doctor 13 | 0.55 | 6(60) | [0.11–0.99] |
| Doctor 14 | 0.69 | 7(46.7) | [0.42–0.97] |
| Doctor 15 | NI | 1(100) | NI |

AC2 = Agreement coefficient Gwet's AC2 ; N = Absolute Number ; NI = Non Interpretable
% = Percentage of misclassified cases

Intra-observer variability (table 5)

A very good agreement was found for Schmeling's classification (AC2 = 0.91; 17% of cases were misclassified or 17 cases out of 100).

We also found a very good agreement for Kellinghaus's classification (AC2 = 0.84; 24% of cases were misclassified or 24 cases out of 100).

Table 5. Intra-observer agreement for Schmeling's and Kellinghaus's classification

| | AC2 | N (%) | Confidence Interval |
|-------------------------------------|------------|--------------|----------------------------|
| Scmeling's classification | 0.91 | 17(17) | [0.86--5] |
| Kellinghaus's classification | 0.84 | 24(24) | [0.77–0.91] |

AC2 = Agreement coefficient Gwet's AC2

N = Absolute Number

% = Percentage of misclassified cases

Sources of errors

Out of all clavicle assessments by medical examiners, the most frequent error during application of Schmeling's classification (Table 6) was attributed to stage 2 by medical examiners while the experienced examiner attributed it to stage 3 (N = 32).

Inappropriate attribution of a not assessable medial clavicular ending to one of the five ossification stages was the fifth error (Table 6).

Table 6. The most frequent errors made between the medical examiners of the forensic unit and the experienced examiner for Schmeling’s classification

| Rank | Stage given by medical examiners of forensic unit | Stage given by the experienced examiner | Number of cases | Percent |
|------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 32 | 8.40 |
| 2 | 3 | 2 | 31 | 8.14 |
| 3 | 3 | 4 | 28 | 7.35 |
| 4 | 4 | 3 | 21 | 5.51 |
| 5 | 1–5 | NA | 16 | 4.19 |

The errors were classified from rank 1 to 5, from the most frequent to the least frequent.

NA = Not assessable

For Kellinghaus’s classification (Table 7), the most frequent error was attributed to stage 4 by medical examiners of the forensic unit while the experienced examiner attributed it to stage 3c (N = 19).

The second most frequent error was attributed to stages 2a, 2b, and 3a instead of stage 3c by the experienced examiner.

Table 7. The most frequent errors made between the medical examiners of the forensic unit and the experienced examiner for Kellinghaus’s classification

| Rank | Stage given by medical examiners of forensic unit | Stage given by medical examiner referent | Number of cases | Percent |
|------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|---------|
| 1 | 4 | 3c | 19 | 8.84 |
| 2 | 2a, 2b, 3a | 3c | 12 | 5.58 |
| 3 | NA | 3c, 4 | 9 | 4.19 |
| 4 | 3c, 4 | NA | 7 | 3.26 |
| 5 | 3c | 4 | 6 | 2.79 |
| 6 | 4 | 2a | 5 | 2.33 |

The errors were classified from rank 1 to 5, from the most frequent to the least frequent.

NA = Not assessable

As regards intra-observer errors by the experienced examiner, the most frequent was the confusion between stages 2 and 3 for Schmeling’s classification (Table 8) and between stages 2c and 3c for Kellinghaus’s classification (Table 9).

Table 8. The most intra-observer frequent errors made for Schmeling’s classification.

| Rank | First reading | Second reading | Number of cases | Percent |
|------|---------------|----------------|-----------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 8 | 8 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |

The errors were classified from rank 1 to 3, from the most frequent to the least frequent.

Table 9. The most intra-observer frequent errors made for Kellinghaus's classification

| Rank | First reading | Second reading | Number of cases | Percent |
|------|---------------|----------------|-----------------|---------|
| 1 | 2c | 3c | 4 | 4 |
| 2 | 2a | 3c | 3 | 3 |
| | 3c | 2a | 3 | 3 |
| 3 | 3c | 3b | 2 | 2 |
| | 4 | 3c | 2 | 2 |

The errors were classified from rank 1 to 3, from the most frequent to the least frequent.

Minority and majority assessment

For Schmeling's classification, 8.9% (N = 34) of cases were considered major by the medical examiners of the Nancy Forensic Unit and minor by the experienced examiner.

Meanwhile, 10.2% (N = 39) of cases were considered minor by the medical examiners of the Nancy Forensic Unit and major by the experienced examiner.

For Kellinghaus's classification, 7.9% (N = 19) of cases were considered major by the medical examiners of the Nancy Forensic Unit and minor by the experienced examiner.

Furthermore, 11.2% (N = 24) of cases were considered minor by the medical examiners and major by the experienced examiner.

Discussion

Intra-observer and inter-observer variability

The main objective of our study was to assess the degree of concordance between the medical examiners of the same forensic unit and the experienced examiner, in order to assess the overall response given to the judicial authorities to a request for an age estimation.

In France, these experts are mandatory and essentially realize their work in a forensic unit under the responsibility of the unit director, and it's important to consider all the medical examiners of this unit as a single entity responding to a justice.

In our study, we found a very good agreement with Gwet's AC2 of 0.71 when the medical examiners used Schmeling's classification and Gwet's AC2 of 0.56 for Kellinghaus's classification.

For intra-observer variability, a very good agreement was found for both classifications. However, the agreement coefficient was less good for Kellinghaus's classification with a Gwet's AC2 of 0.84 and 0.91 for Schmeling's classification.

These results are explained by misuse substages 2 and 3 of Kellinghaus's classification.

Only 215 computed tomography images out of 381 were evaluated using Kellinghaus's classification.

Indeed, despite exhaustive training, the medical examiners prefer to use the simpler Schmeling classification to avoid errors in age estimation.

This finding was also found in Wittschieber et al's study [8], which showed the influence of the examiners's qualification for determining the stage of ossification of the medial clavicular epiphysis. This study reported weighted Kappa coefficients of 0.49 with Schmeling's classification [2] and 0.47 with Kellinghaus's classification [4] between an inexperienced evaluator with no training and a baseline assessment (obtained by consensus between two

experts). After the realization of training sessions, these agreement coefficients reached 0.63 and 0.58, respectively. However, as in our study, a better agreement coefficient was found during the use of Schmeling's classification.

The authors stressed the importance of training, experience, and the double-reading of the computed tomography by experienced evaluators to improve the reliability of the results.

An ethical question arises regarding the use of a more precise classification to affirm the majority when stage 3c is found (Kellinghaus) while increasing the risk of errors in the age estimation.

In 2018, Hermetet et al. [14] published a meta-analysis, including 13 studies [3–6,15–23] conducted on three different continents, of different ethnic origins.

Eight studies used substages 2 and 3 of Kellinghaus's classification [4], while the other studies used the five stages of Schmeling's classification [2].

This literature review showed that ages greater than 18 years were systematically found for stages 4 and 5 in all studies, and for stage 3c except for a study conducted in Thailand [18]. In this study [18] the minimum age for stage 3c was 17.4 years, but these results should be interpreted carefully because the minimum age for stage 3b was 18.1 years [14].

All studies on the degree of clavicle ossification propose inter- and intra-observer agreements, required by reviewers to assess the validity of the work [8], but none have investigated potentially larger errors in the single use of Kellinghaus's classification, compared to Schmeling's. Thus, for the majority of these studies [5,19,21–23], the inter-observer agreement (Cohen's kappa) ranged from 0.82 [19] to 0.96 [5], which was relatively higher than in our study.

Moreover, for most of these studies, the examiners were radiologists with decades of experience [19,21-23], some specializing in age estimation [19,21] while others were not, notably in the use of Kellinghaus's classification in computed tomography [22].

In our study, the aim was to evaluate estimation made by the medical examiner and not the radiologist because in France the medical examiner is the only one to make a joint report combining all the analyses realized and to come to a conclusion regarding age estimation.

While we could have expected similar agreement coefficients between the medical examiners of the Nancy Forensic Unit and the experienced examiner, due to a common and identical training, these varied from one doctor to another.

Gwet's AC2 ranged from 0.26 to 0.83 for Schmeling's classification and from -0.14 to 0.74 for Kellinghaus's classification.

One hypothesis is that some doctors tend to underestimate the classification stages, perhaps from an ethical perspective, so as not to attribute the majority to a minor.

Thus, 11.2% files of the experienced examiner of this study concluded that patients are major majority while files of the medical examiners of the forensic unit concluded that those patients are minor

All available studies agree on the importance of training [8,20,21,24], but these methods of age estimation in regard to clavicular ossification are based on purely qualitative data and may be unreliable and subjective [25,26].

As for intra-observer variability, it is highly variable from one study to another, sometimes lower [21,27] and sometimes higher [20,23,28] than the inter-observer agreement.

In our study, we found a very good agreement with a Gwet's AC2 of 0.91 for Schmeling's classification and 0.84 for Kellinghaus's classification, higher than the inter-observer

variability. That's why intra-observer variability didn't appear to influence the agreement between the medical examiners of the forensic unit and the experienced examiner in our study.

Sources of errors

For inter-observer variability, one of the main errors during the use of Schmeling's classification was the confusion between stages 2 and 3 (fig 1), which was indicative of poor consideration of osseous bridges between the epiphyseal ossification nucleus and clavicular metaphysis, often interpreted as artifacts because of the image reconstruction.

Indeed, the visualization of osseous bridges depends directly on the slices orientation, their thickness, the spatial resolution and the signal-to-noise ratio of CT scan [29-32].

A slice thickness too important [30] or a poor spatial resolution affects the quality of images [32]. In contrast, too small slice thickness may also increase the noise. [33]

Thus, this factors could be improved, but this would require more radiation [32].

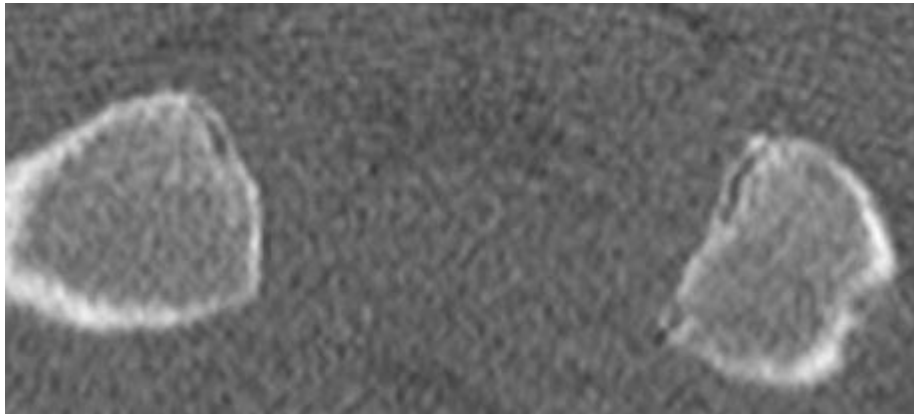


Fig 1. Medial clavicular epiphysis determined as a stage 2 by a medical examiner, while the experienced examiner decided that were a stage 3.

The determination errors between stages 3 and 4 can be explained by the persistence of wedge-like remnants of the epiphyseal cartilage, only visible in one view (coronal or axial) [29].

Another frequent error (in fifth place among the most frequent errors in our study) was the determination of an ossification stage on a not assessable clavicle (fig 2), an error already highlighted in Wittschieber's study [8]. It's therefore important to educate medical examiners about these existing anatomical variants, because there are currently no studies on their developmental velocities [8].

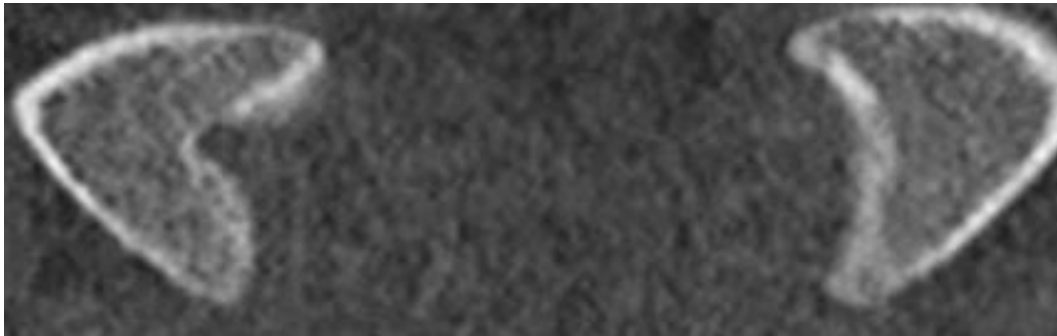


Fig 2. Medial clavicular epiphysis determined as a stage 4 by a medical examiner, while the experienced examiner decided that were not assessable (Bowl-like shape variant).

For Kellinghaus's classification, one of the most frequent errors was the confusion between stages 2a, 2b, and 3a instead of at stage 3c. Several hypotheses may explain this confusion. First, ignore the fusion bridges between the epiphysis and the clavicular metaphysis because the sharpness of the image is reduced by the decrease in radiation levels [30] or by misuse of image parameters such as brightness or image contrast [8].

Second, the misuse of certain slices in the computed tomography resulted in measurement errors between the epiphysis width and the metaphysis [8].

In 2017, Scharte et al. [29] also highlighted errors in determining substages for Kellinghaus's classification due to poor consideration of all cut planes (axial and coronal) in the images.

In some cases, there was also significant confusion between stages 4 and 2a, the main reason being the consideration of calcifications of the joint capsule, sternoclavicular ligaments, or intra-articular discus as the center of ossification [8].

As regards the intra-observer errors of the experienced examiner, these were errors of confusion between stages 2 and 3 for Schmeling's classification and between stages 2c and 3c for Kellinghaus's classification. This error is indicative of poor consideration of osseous bridges between clavicular epiphysis and metaphysis considered to be artifacts or vice versa.

Other limitations, already reported in various studies, in explaining this inter- and intra-observer variability and the sources of errors are to be considered. These refer to image acquisition in terms of device settings and individuals position [4,18,29,30,34].

In 2019, Tozakidou et al. showed that different image reconstruction algorithms influenced image quality and ossification stages, as well as effective radiation doses [35].

A slice thickness greater than 1 mm can lead to the choice of too advanced an ossification stage, by decreasing spatial resolution [30].

In our study, the techniques of image acquisition have evolved over the years in order to limit irradiation, which may have led to artifacts and disrupted the reading of images for a less qualified doctor.

In addition, between 2008 and 2020, the manipulators and radiologists of the radiology department were confronted with images showing many artifacts due to the large movements of individuals in computed tomography. To remedy this, they decided to reduce the rotation time from 0.5 s to 0.275 s.

The use of a single and common protocol, written by a group of experts, between medical examiners and radiologists, regarding the imaging parameters to be used, could prove useful in limiting these biases.

This inter and intra observer variability can be also explain by the conditions for reading of CT scan's images.

Indeed, these images are not read, by the medical examiners and the experienced examiner, in the same conditions as in department of imagery.

In the Nancy forensic unit, the reading is realized with only one monitor while radiologists have three screens (with at least one diagnostic screen), more efficient, to respect recommendations [36].

The reading of images was also influenced by poor respect of the lighting norms in the room by the medical examiners from Nancy forensic unit (the walls not painted dark, absence of control outside lighting with the blinds...) [36].

Although we found a good inter-observer agreement for Schmeling's classification and a moderate one for Kellinghaus's classification between the medical examiners and the experienced examiner, errors between stages may have led to a change in the conclusions of the age estimation reports in 19.1% (N = 73) of cases when they used Schmeling's classification and in 19.06% (N = 41) of cases when they used Kellinghaus's classification.

In terms of statistical analysis, we used Gwet's AC2 agreement while most studies use Cohen's kappa agreement. Indeed, with the presence of very different numbers between each stage, Gwet's AC2 allows better consideration of prevalences than kappa [10]. Thus, this is a limitation in comparing our results to other studies.

Moreover, the kappa value depends directly on the level of readers' experience and their qualification, it is not an objective measure for assessing intra- and inter-observer agreement [6,8]. This agreement coefficient has many limitations [10,35] that can be overcome by other more stable tests, such as Gwet's AC 2 as used in our study [11].

Conclusion

In summary, the main sources of errors found in our study, despite good agreements coefficients, could have generate a reclassification concern the minority or majority of patients in the experts's conclusion, in almost 20% of the cases, which is not negligible in terms of judicial response.

These sources of errors can be explained by limited training [8] and the quality of the images sometimes being altered by artifacts, especially during movements of the individual during acquisition in computed tomography, causing negligence of the fusion bridges between stages 2 and 3 or vice versa.

One of the solutions for reducing these errors is to carry out quality control once a year [37], as proposed each year by AGFAD.

In 2018, the future of age estimation assessments was compromised in France after a referral to the Constitutional Council questioning the reliability and irradiating nature of the scientific tests used. Although this request was rejected, the subject remains particularly sensitive due to the increasing number of requests for expertise in all countries of the world.

Age estimation is, and will remain, a problematic social, economic, ethical, and political notion, which is why it's important to evaluate limits, take them into account, and propose scientifically validated solutions [38–40].

Declarations

Funding: No funding was received for conducting this study

Conflict of interest: No conflict of interest is declared by the authors.

Ethical approbation: This retrospective study was approved by the local ethics committee. All procedures performed in the present study were in accordance with the ethical standards of the institution, the national research committee of France, and the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards

Acknowledgements:

We sincerely thank Professor Pauline SAINT-MARTIN and Doctor Frédéric SAVALL for their valuable advices.

References

1. Kreitner K-F, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M (1998) Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol* 8:1116–1122.
2. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G (2004) Studies on the time frame for ossification of medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med* 118:5–8.
3. 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 revealed by CT scans. *Int J Legal Med* 119:142–145.
4. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Pfeiffer H, Schmeling A. (2010) Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. *Int J Legal Med* 124 :321–325.
5. Houpert T, Rérolle C, Savall F, Telmon N, Saint-Martin P (2016) Is a CT-scan of the medial clavicle epiphysis a good exam to attest to the 18-year threshold in forensic age estimation? *Forensic Sci Int* 260:103.e1–103.e3.
6. Gurses MS, Inanir NT, Soylu E, Gokalp G, Kir E, Fedakar R (2017) Evaluation of the ossification of the medial clavicle according to the Kellinghaus substage system in identifying the 18-year-old age limit in the estimation of forensic age: is it necessary? *Int J Legal Med* 131:585–592.
7. Schmeling A, Kaatsch H.-J, Marre B, Reisinger W, Riepert T, Ritz Timme S, Rösing F.W, Rötzscher K, Geserick G (2001) Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren, *Rechtsmedizin* 11:1–3.
8. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, Klaus Püschel K, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A (2014) Influence of the examiner's qualification and sources of error during stage determination of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography. *Int J Legal Med* 128 :183-191.
9. Gwet KL (2008) Computing inter-rater reliability and its variance in the presence of high agreement. *Br J Math Stat Psychol* 61:29–48. doi: 10.1348/000711006X126600
10. Wongpakaran N, Wongpakaran T, Wedding D, Gwet KL (2013) A comparison of Cohen's Kappa and Gwet's AC1 when calculating inter-rater reliability coefficients: a study conducted with personality disorder samples. *BMC Med Res Methodol.* 13:61.

11. Gwet KL (2016) Testing the difference of correlated agreement coefficients for statistical significance. *Educational and Psychological Measurement* 76:609–637.
12. Altman DG (1991) *Practical statistics for medical research*. Chapman & Hall, New York.
13. Blum A, Feldmann L, Bresler F, Jouanny P, Briançon S, Régent D (1995) Intérêt du calcul du coefficient kappa dans l'évaluation d'une méthode d'imagerie. *J Radiol* 76 : 441-443
14. Hermetet C, Saint-Martin P, Gambier A, Ribier L, Sautenet B, Rérolle C (2018) Forensic age estimation using computed tomography of the medial clavicular epiphysis: a systematic review. *Int J Legal Med* 132:1415–1425.
15. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A (2010) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med* 124:149–154.
16. Zhao H, Dong X-A, Zheng T, Qing S-H, Deng Z-H, Zhu G-Y (2011) Skeletal age estimation of sternal end of clavicle in Sichuan Han nationality youth using thin-section computed tomography. *Fa Yi Xue Za Zhi* 27:417–420
17. Wang Y-H, Wei H, Ying C-L, Wan L, Zhu G-Y (2013) The staging method of sternal end of clavicle epiphyseal growth by thin layer CT scan and imaging reconstruction. *Fa Yi Xue Za Zhi* 29:168–171, 179.
18. Pattamapasong N, Madla C, Mekjaidee K, Namwongprom S (2015) Age estimation of a Thai population based on maturation of the medial clavicular epiphysis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 246:123.e1–123.e5.
19. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Sayin I, Solmaz D, Bilgili MG, Can IO (2015) Forensic age estimation by the Schmeling method: computed tomography analysis of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med* 129:203–210.
20. Franklin D, Flavel A (2015) CT evaluation of timing for ossification of the medial clavicular epiphysis in a contemporary Western Australian population. *Int J Legal Med* 129:583–594.
21. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Can IO, Aksoy S, Sayin I (2015) Estimation of forensic age using substages of ossification of the medial clavicle in living individuals. *Int J Legal Med* 129:1259–1264.
22. Gurses MS, Inanir NT, Gokalp G, Fedakar R, Tobcu E, Ocakoglu G (2016) Evaluation of age estimation in forensic medicine by examination of medial clavicular ossification from thin-slice computed tomography images. *Int J Legal Med* 130:1343–1352.

23. Ramadan SU, Gurses MS, Inanir NT, Hacifazlioglu C, Fedakar R, Hizli S (2017) Evaluation of the medial clavicular epiphysis according to the Schmeling and Kellinghaus method in living individuals: a retrospective CT study. *Leg Med (Tokyo)* 25:16–22.
24. Cameriere R, De Luca S, De Angelis D, Merelli V, Giuliadori A, Cingolani M, Cattaneo C, Ferrante L (2012) Reliability of Schmeling's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects. *Int J Legal Med* 126:923–932.
25. Roche AF, Johnson JM (1969) A comparison between methods of calculating skeletal age (Greulich-Pyle). *American Journal of Physical Anthropology* 30:221–229.
26. Roche AF, Davila GH, Pasternack BA, Walton MJ (1970) Some factors influencing the replicability of assessments of skeletal maturity (Greulich-Pyle). *American Journal of Roentgenology* 109:299–306.
27. Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Ishii N, Inokuchi G, Motomura A, Chibaa F, Yamaguchia R, Hoshiokab Y, Urabeb S, Iwase H (2019) Age estimation based on maturation of the medial clavicular epiphysis in a Japanese population using multidetector computed tomography. *Legal Med* 37:28–32.
28. Mahon T, Friedling LJ, Gordon GM (2018) Union of the medial clavicular epiphysis in a South African Black skeletal sample. *HOMO* 69:259–265.
29. Scharte P, Vieth V, Schulz R, Ramsthaler F, Püschel K, Bajanowski T, Pfeiffer H, Schmeling A, Schmidt S, Wittschieber D (2017) Comparison of imaging planes during CT-based evaluation of clavicular ossification: a multi-center study. *Int J Legal Med* 131:1391–1397.
30. Muhler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W (2006) The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 120:15–17.
31. Brüllmann D, Schulze RK. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications - what do we know today? *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44:20140204
32. Goldman LW (2007) Principles of CT: radiation dose and image quality. *J Nucl Med Technol.* 35:213-228
33. Katkar R, Steffy DD, Noujeim M, Deahl ST 2nd, Geha H (2016) The effect of milliamperage, number of basis images, and export slice thickness on contrast-to-noise ratio and detection of mandibular canal on cone beam computed tomography scans: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 122:646-653

34. Tozakidou M, Apine I, Petersen KU, Weinrich JM, Schindera S, Jopp-van Well E, Püschel K, Herrmann J (2020) Comparison of different iterative CT reconstruction techniques and filtered back projection for assessment of the medial clavicular epiphysis in forensic age estimation. *Int J Legal Med* 134:355–361.
35. Graham, P. and Jackson, R. (1993) The analysis of ordinal agreement data: beyond weighted kappa. *J Clin Epidemiol* 46:1055-62.
36. Goyal N, Jain N, Rachapalli V (2009) Ergonomics in radiology. *Clin Radiol.* 64:119-126.
37. Schmeling A, Geserick G, Reisinger W, Olze A (2007) Age estimation. *Forensic Sci Int* 165:178–181.
38. Hillewig E, Degroote J, Van der Paelt T, Visscher A, Vandemaele P, Lutin B, D'Hooghe L, Vandriessche V, Piette M, Verstraete K (2013) Magnetic resonance imaging of the sternal extremity of the clavicle in forensic age estimation: towards more sound age estimates. *Int J Legal Med* 127:677–689.
39. Ekizoglu O, Inci E, Ors S, Hocaoglu E, Can IO, Basa CD, Kacmaz IE, Kranioti EF (2019) Forensic age diagnostics by magnetic resonance imaging of the proximal humeral epiphysis. *Int J Legal Med* 133:249–256.
40. Saint-Martin P, Rérolle C, Dedouit F, Rousseau H, Rougé D, Telmon N (2014) Evaluation of an automatic method for forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the distal tibial epiphysis—a preliminary study focusing on the 18-year threshold. *Int J Legal Med* 128:675–683.
41. Chaumoitre K, Saliba-Serre B, Adalian P, Signoli M, Leonetti G, Panuel M (2017) Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance. *Eur Radiol* 27:1032–1043.
42. Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G (2016) Forensic age estimation-methods, certainty, and the law. *Dtsch Arztebl Int* 2016 113:44–50.
43. Tisè M, Mazzarini L, Fabrizzi G, Ferrante L, Giorgetti R, Tagliabracci A (2011) Applicability of Greulich and Pyle method for age assessment in forensic practice on an Italian sample. *Int J Legal Med* 125 :411–416.
44. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, Püschel K, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A (2014) The value of sub-stages and thin slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. *Forensic Sci Med Pathol* 10:163–169.

DISCUSION : LES ENJEUX DE L'ESTIMATION DE L'AGE

L'estimation de l'âge est une notion aux enjeux sociaux, économiques, éthiques et politiques. Les outils scientifiques permettant de répondre à la question de l'âge d'un individu sont sujets à débats et très souvent remis en cause puisqu'ils ne permettent pas d'estimer un âge avec certitude.

A. Pertinence des tests utilisés

La pertinence des outils utilisés pour l'estimation de l'âge d'un individu est un sujet très actuel et problématique.

En effet toutes les méthodes utilisées pour estimer l'âge d'une personne dérive de méthodes déductives, c'est-à-dire qu'elles se sont attachées à définir des stades de développements en fonction d'un fait réel, ici l'âge chronologique des individus, afin d'évaluer des anomalies du développement [78].

Ainsi, lorsqu'il est trouvé, lors d'un examen médical, un écart de maturité par rapport aux observations attendues pour l'âge chronologique réel, cela indique un trouble de la croissance. Ces méthodes déductives sont utilisées dans un but diagnostique ou thérapeutique [78].

Pour l'estimation de l'âge, celui-ci sera estimé en fonction d'un stade de développement observé. Le raisonnement est ici inductif [78]. Dans ce cas, le stade de développement observé peut correspondre à différents âges chronologiques, comme un âge donné peut donner plusieurs stades de développement différents.

Malheureusement, le raisonnement inductif est « *un système ampliatif, impliquant de l'incertitude* », indépendamment des facteurs extérieurs [79].

Ces méthodes ne permettent donc pas de répondre avec certitude, il est impossible de déterminer précisément l'âge réel d'un individu. En ce sens, l'objectif des expertises médico-légales est d'estimer et non pas déterminer l'âge d'un individu.

Pour chaque étude, il est donc important de prendre en compte ses limites :

- Les caractéristiques de la population étudiée :

Le développement humain est influencé par différents facteurs, tels que la génétique, l'environnement ou encore l'origine ethnique. Les populations étudiées sont bien souvent d'origine ethnique et de classes socio-économiques différentes de la population pour laquelle une estimation de l'âge est demandée.

Concernant la méthode de Greulich et Pyle [29], bien qu'il s'agisse d'une étude réalisée sur une population d'enfant dans les années 40-50, elle semble rester applicable à une population contemporaine [34].

Quant à la question sur l'application cette méthode sur des ethnies différentes de l'échantillon source, les avis divergent. D'après Schmeling [80] et Meijerman [81], l'appartenance ethnique n'influence pas sur la maturation squelettique. En revanche, Mora en 2001[82] a montré une variation de maturation entre une population d'enfants américains d'origine européenne et africaine, les enfants pré-pubères d'origine européenne retardaient leur maturation squelettique alors qu'il s'agissait du contraire en période post-pubère.

En 2009, Zang [83] a également montré un âge osseux sensiblement différent pour les enfants d'origine hispanique et asiatique, mais ne retrouvait pas de variabilité entre une population caucasienne et afro-américaine.

Mansouvar a publié d'autres résultats en 2014 [84], en estimant que la méthode de Greulich et Pyle [29] pouvait être appliqué aux populations caucasiennes et hispaniques, mais non aux populations asiatiques et afro-américaines.

Il existe de nombreuses études concernant la reproductibilité de cette méthode à d'autres populations.

| Pays | Année de l'étude | Auteur | Applicable |
|----------------|-------------------------|---------------|-------------------|
| Italie [85] | 2011 | Tisé | Oui |
| Israël [86] | 2012 | Soudack | Oui |
| Turquie [87] | 2012 | Cantekin | Oui |
| Iran [88] | 2012 | Moradi | Oui |
| Indien [89] | 2012 | Patil | Non |
| Ecosse [90] | 2013 | Hackman | Oui |
| Australie [91] | 2013 | Paxton | Oui |
| France [92] | 2014 | Zabet | Oui |
| France [34] | 2017 | Chaumoître | Oui |

Tableau 1. Résultats sur l'application de la méthode de Greulich et Pyle sur différentes populations

De manière générale, les études ont pu montrer que les conditions socio-économiques affectaient d'avantages le développement osseux que l'origine ethnique de l'individu [80] et que celles-ci conduiraient plutôt à un retard de développement, entraînant une sous-estimation de l'âge de la population ciblée par rapport à la population source. Ainsi, cette évaluation reste une approche protectrice vis-à-vis de ces jeunes mineurs non accompagnés.

Pour les méthodes de développement dentaire, en revanche, elles semblent quant à elles, plus sensibles à l'origine ethnique [60, 93,94].

Toutes ces méthodes sont donc à utiliser avec précautions. Dans l'idéal, il serait nécessaire d'utiliser des études où la population source est comparable à la population ciblée dans les estimations de l'âge. Les données des Atlas ou des études de référence ne devraient être valables

que sur la population étudiée ce qui, par définition dans les populations migrantes, n'est pas possible.

De plus, deux personnes du même âge, de même origine ethnique et vivant dans les mêmes conditions socio-économiques peuvent se trouver à des stades de développement différents, il s'agit de la variabilité interindividuelle, d'une variation biologique dont la marge d'erreur ne peut être quantifiée.

L'âge réel ne correspond pas nécessairement à l'âge biologique, la concordance entre les deux dépend de la vitesse de maturation et de l'apparition des caractères sexuels secondaires lors de la phase pubertaire [19]. Il existerait une meilleure corrélation entre l'âge osseux et l'âge civil dans les populations française et québécoise que dans une population marocaine par exemple [95].

Il serait nécessaire de disposer de bases de données concernant un large éventail de populations d'origines ethnique différentes et de classes socio-économiques différentes mais il semble difficile de collecter des informations sur les mineurs non accompagnés tant ils divergent sur leurs pays d'origine, leurs niveaux de vie et leurs variabilités individuelles (stress, malnutrition, conditions familiales...). Par ailleurs, une récente étude rapporte même que certains facteurs environnementaux et biochimiques seraient associés à un développement précoce [96,97].

- L'intervalle de confiance :

Il s'agit de la probabilité que l'âge estimé d'un individu se trouve entre deux bornes d'un intervalle. Traditionnellement, il s'agit d'un intervalle de 95%.

Par exemple, selon Chaumoître [34], une personne présentant une fusion totale du poignet a 95% de chance d'être âgée entre 16.99 ans et 21.72 ans.

Pour autant, il existe encore 5% de risque que l'âge de l'individu se trouve en dehors de ces bornes d'intervalle, et cette erreur ne peut être ignorée.

Par ailleurs, les bornes de ces intervalles de confiance sont, pour la plupart des études publiées, très larges et ne permettant pas de juger de la majorité (18 ans).

- L'écart-type :

Il s'agit de la mesure de dispersion des valeurs d'un échantillon statistique ou d'une distribution de probabilité.

Dans la plupart des études, 95% de la population se situe entre la moyenne moins deux écarts types et la moyenne plus deux écarts types.

Par exemple, selon Mincer [59], une troisième molaire développée à un stade H pour une population d'origine africaine correspond à un âge compris entre $20.4 - (2 \times 3.14)$ soit 14.12 ans et $20.4 + (2 \times 3.14)$ soit 26.68 ans.

Dans tous les tests d'estimation d'âge actuel, les écarts types sont très importants, entraînant un manque de puissance des études et rendant difficile leurs utilisations pour estimer la majorité d'un individu.

- L'âge minimum et l'âge maximum observés dans les études :

Certaines études publient leurs résultats en précisant l'âge minimum retrouvé dans chaque stade de développement (que ce soit osseux ou dentaire).

Comme celle de Kellinghaus en 2010 [36] retrouvant un stade minimum de 19.7 ans chez l'homme et 19.5 chez la femme pour un stade de développement 3c des clavicules, permettant d'éliminer avec certitude le caractère mineur d'un individu.

Pour les autres études sur l'estimation de l'âge osseux, aucune ne permet d'éliminer avec certitude que l'individu est mineur, puisque les âges minimums sont bien souvent en dessous de 18 ans.

Il s'agit donc de la seule étude appliquée actuellement, permettant d'assurer le caractère majeur d'un individu au stade 3c.

- La variabilité inter et intra-observateurs :

Bien que la lecture de la radiographie de la main et du poignet gauche selon la méthode de Greulich et Pyle [29] présente une bonne reproductibilité entre experts et novices [98,99], la lecture du scanner de clavicules s'avère beaucoup plus complexe.

Ces méthodes reposent sur des données purement qualitatives et peuvent donc manquer de fiabilité et d'objectivité [4, 100].

Celle-ci nécessite de l'expérience [5] et une mauvaise interprétation peut entraîner de lourdes conséquences.

Comme notre étude a pu le montrer, malgré un accord de concordance modéré à fort selon la classification de Kellinghaus [36] et Schmeling [30] respectivement, il existe une variabilité inter et intra-observateur non négligeable, expliqué par des erreurs de confusion entre différents stades. Celles-ci pourraient engendrer une réévaluation des conclusions des expertises d'estimation dans 19,1% des dossiers de l'UMJ du CHRU de Nancy, que ce soit de majeur en mineur ou inversement.

L'une des hypothèses, hormis le manque de formation et la qualité des images au scanner parfois difficilement interprétable dû à la présence d'artefacts, est celle rapporté par Roche et Johnson [4,100], le manque d'objectivité, avec une possibilité de sous-évaluation des stades par certain médecin légiste du fait des implications majeures de cette estimation.

Par ailleurs, dans toutes les études actuellement disponibles [5,101-107], testant la reproductibilité du scanner de clavicules dans différentes populations, toutes ont utilisé l'indice

de concordance Kappa de Cohen pour tester la variabilité inter et intra-observateur et ainsi tester la fiabilité de la méthode.

S'agissant de données de type ordinales, puisqu'il s'agit de nommer différents stades d'ossification, et non nominales, il est important d'utiliser un indice de concordance pondéré, afin d'estimer un poids pour chaque erreur rencontrée.

Il existe deux types de pondérations, la pondération linéaire et la pondération quadratique.

Alors que les poids linéaires sont proportionnels à l'écart entre deux évaluations, le poids quadratique est lui proportionnel au carré de l'écart entre deux évaluations.

Cependant, nous avons été confrontés à un choix de pondération dans notre étude, pour lequel il n'existait aucune donnée disponible sur ce sujet dans la littérature. En effet, aucun article ne précisait quelle pondération ils avaient utilisé dans ces cas.

Ainsi, était-il plus juste d'utiliser une pondération linéaire et définir les erreurs entre deux stades toutes aussi grave, c'est-à-dire faire une erreur entre les stades 1 et 2 est aussi grave qu'entre les stades 2 et 3 et ainsi de suite ou fallait-il utiliser une pondération quadratique, et ainsi définir qu'une erreur entre le stade 2 et 3 est beaucoup plus grave qu'entre le stade 1 et 2 ?

Après concertation auprès des statisticiens et d'experts médecins légistes, il a été décidé d'utiliser une pondération linéaire ajustée.

| | NI | Stade 1 | Stade 2 | Stade 3 | Stade 4 | Stade 5 |
|---------|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| NI | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stade 1 | 0 | 1 | 0,75 | 0,50 | 0,25 | 0 |
| Stade 2 | 0 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,50 | 0,25 |
| Stade 3 | 0 | 0,50 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,50 |
| Stade 4 | 0 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1 | 0,75 |
| Stade 5 | 0 | 0 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1 |

NI = Non interprétable

Tableau 2a. Matrice des poids utilisés pour le calcul de l'indice de concordance Gwet's AC2 pour la classification de Schmeling.

| | NI | Stade 1 | Stade 2a | Stade 2b | Stade 2c | Stade 3a | Stade 3b | Stade 3c | Stade 4 | Stade 5 |
|----------|----|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| NI | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stade 1 | 0 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,357 | 0,25 | 0 |
| Stade 2a | 0 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,357 | 0,107 |
| Stade 2b | 0 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,464 | 0,214 |
| Stade 2c | 0 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,571 | 0,321 |
| Stade 3a | 0 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,679 | 0,429 |
| Stade 3b | 0 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,786 | 0,536 |
| Stade 3c | 0 | 0,357 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,893 | 0,643 |
| Stade 4 | 0 | 0,25 | 0,357 | 0,464 | 0,571 | 0,679 | 0,786 | 0,893 | 1 | 0,75 |
| Stade 5 | 0 | 0 | 0,107 | 0,214 | 0,321 | 0,429 | 0,536 | 0,643 | 0,75 | 1 |

NI = Non interprétable

Tableau 2b. Matrice des poids utilisés pour le calcul de l'indice de concordance Gwet's AC2 pour la classification de Kellinghaus.

En effet, il ne semble pas plus grave de faire une erreur entre les stades 2 et 3 que les stades 1 et 2, par exemple. Cette pondération ajustée, nous a également permis de prendre en compte les erreurs concernant les cas de clavicules non interprétables.

A noter que dans les études actuellement publiées, il n'est pas précisé si les cas de clavicules non interprétables ont été ou non pris en compte.

D'autre part, la valeur du kappa dépendant directement du niveau d'expériences et de la qualification des lecteurs, elle n'est pas une mesure objective pour évaluer la conformité intra et inter-observateurs [5, 105]. Cet accord de concordance possède donc de nombreuses limites [108,109] pouvant être palliées par d'autres tests, plus stable, tel que le Gwet's AC, celui que nous avons utilisé dans notre étude [110].

Il pourrait être intéressant de réunir un consensus d'expert formé de médecins légistes, de radiologues, d'anthropologues, ainsi que des bio-statisticiens, afin d'évaluer quelle pondération et quelle test statistique il serait préférable d'utiliser lorsqu'il s'agit d'étudier la variabilité inter et intra-observateur dans ce domaine.

Plusieurs instances ont été amenées à se positionner sur la fiabilité des tests pour l'estimation de l'âge osseux, avant la loi du 14 mars 2016 tel le Comité national d'éthique consultatif en 2005 [111], l'académie de médecine en 2007 [112] ou encore le Haut conseil de la santé publique en 2014 [113]. Tous conviennent que l'estimation d'un âge osseux ne permet pas de déterminer avec certitude l'âge réel de l'individu, puisqu'un âge aux alentours de 18 ans possède une marge d'erreur de 18 à 24 mois.

Au total, bien que toutes les méthodes radiologiques d'estimation de l'âge soient sujet à maintes critiques et discussions, elles restent, pour certaines dont la prise en compte de la maturation du poignet et la partie interne de la clavicule, les méthodes recommandées.

L'une des solutions pour diminuer la marge d'erreur pour estimer l'âge d'un individu est d'associer plusieurs méthodes, comme le recommande le Study Group on Forensic Age Diagnostics [77]. Cette association permet d'obtenir un degré d'incertitudes de +/- 12 mois par rapport à l'âge réel [114], ce qui semble acceptable mais problématique pour l'appréciation de l'âge autour de 18 ans.

B. Variabilités des pratiques et des tests utilisés

Les pratiques varient énormément entre tous les pays du monde et au sein même des départements en France.

En effet, le Haut-commissariat des Nations Unis pour les réfugiés ne se prononce pas sur les méthodes à utiliser, il précise juste qu'une telle estimation doit « *tenir compte non seulement de l'aspect physique de l'enfant mais aussi de sa maturité psychologique* » et que lorsque « *des procédures scientifiques sont utilisées pour déterminer l'âge de l'enfant, des marges d'erreur*

doivent être tolérées » [6]. Ces méthodes ne doivent, entre autres, présenter aucun danger et doivent respecter la dignité humaine.

Par exemple, en Grande Bretagne et en Slovénie, les tests osseux ne sont pas réalisés à des fins d'estimation de l'âge [115].

Certains pays utilisent l'observation des caractères sexuels, comme l'Autriche, la Croatie ou encore l'Italie, quand d'autres ont décidé de ne plus le réaliser, notamment en France, au Luxembourg ou en Belgique.

Seulement 12 pays de l'Union Européenne utilise une imagerie de la clavicule : en Autriche, en Belgique, en Estonie, en France, en Lettonie, en Lituanie, au Luxembourg, à Malte, en Roumanie, en Slovaquie, l'Espagne et la Suisse [115].

En Suède, l'estimation de l'âge ne se base pas sur les recommandations de l'AGFAD mais à partir d'une IRM du genou [115].

En Hongrie et au Luxembourg, ils utilisent une radiographie de l'os iliaque, ou encore au Portugal, une radiographie de la quatrième côte [115].

En plus d'adopter des méthodes d'estimation d'âge différentes, l'interprétation des résultats en est différente. Selon le réseau européen des migrations : « *En Autriche, la détermination de l'âge permet d'établir un âge minimum ; en Belgique un écart-type (moins 1 an) est appliqué ; en Norvège, la détermination de l'âge définit la probabilité (en %) qu'une personne ait l'âge qu'elle déclare avoir, et sur la base de cette déclaration, une évaluation est réalisée pour savoir dans quelle mesure cette personne est susceptible d'être majeure* » [116].

Cette variabilité entraîne donc des disparités, notamment sur la définition même d'un mineur non accompagné. Il est ainsi difficile de suivre la proportion dans le monde entier de ces jeunes mineurs et alors d'adapter leurs besoins de manière uniforme dans tous les territoires du monde.

En février 2018, un rapport d'une mission bipartite de réflexion sur les mineurs non accompagnés a été rédigé par l'inspection générale des affaires sociales, l'inspection générale de la justice, l'assemblée des départements de France et l'inspection générale de l'administration. Celui-ci insistait et recommandait une coopération renforcée entre les Etats Membres de l'Union Européenne, en y associant le conseil de l'Europe [117]

Alors qu'il existe des disparités de prise en charge pour l'estimation médicale de l'âge osseux entre les pays européens, ce rapport de mission en rapportait au sein même au niveau national. A Paris, il existait en 2018 un protocole bien défini avec la réalisation d'un examen clinique, un examen radiologique interprété par un radiologue et un examen dentaire par un orthodontiste. Un rapport final était rendu 3 à 4 mois suivants les examens et indiquait la compatibilité avec l'âge allégué [117]

En Seine Saint Denis, le responsable de médecine légale estimait l'âge osseux à partir de la simple réalisation d'une radiographie de la main et du poignet gauche, ce qui reste éminemment critiquable, estimant que l'orthopantomogramme possédait un taux d'irradiation injustifié dans ce contexte [117].

Par ailleurs, il n'existe aucune modalité commune quant aux paramètres d'acquisitions des images dans le cadre des estimations de l'âge, notamment pour le scanner de clavicules [118].

| Etudes | Marque du scanner (Type) | Ampérage (mA) | kV | Type de fenêtre | FOV | Temps de rotation (s) | Epaisseur de coupes (mm) |
|---------------------------|--------------------------|---------------|-----|-----------------|-----|-----------------------|--------------------------|
| Ekizoglu [101,103] | Siemens (Multibarrette) | 120 | 120 | Os | | | 1 |
| Houpert [104] | Siemens (Inconnu) | | 120 | Os | 200 | | 1 |
| Scharte [119] | Siemens (Multibarrette) | 90 | 120 | Os | 200 | | 0,6 |
| Kellinghaus [36] | Siemens (Inconnu) | 120 | 120 | Os | | | 0.6/1/1.25/1.5 |
| Wittschieber [5] | Siemens (Multibarrette) | 90 | 120 | Os | 200 | | 0.6 |
| Torimitsu [107] | Hitachi (Multibarrette) | 200 | 120 | Os | | 1 | 0.625 |
| Ramadan [106] | Siemens (Multibarrette) | 120 | 110 | Os | | | 0,6 |
| Notre étude (2020) | Toshiba (Multibarrette) | 125-280 | 120 | Os | 150 | 0,275-0,5 | 0,25/0,5 |

Tableau 3. Paramètres d'acquisitions pour les scanners de clavicules en fonction de différentes études

Outre le manque de fiabilité des tests médicaux utilisés, c'est l'absence d'un protocole unique qui est au cœur des débats même si les experts restent libres d'utiliser les tests qu'ils souhaitent, de manière combinée ou isolée, tant qu'ils précisent dans leurs conclusions les limites et marges d'erreurs des méthodes choisies. Ainsi les conclusions entre experts varient énormément d'un centre à l'autre. De plus, dans 80% des cas, les conclusions seraient mal rédigées par les médecins légistes et ce sont ces conclusions qui pourraient entraîner des erreurs judiciaires, et non le manque de précision des tests [13].

C. Question prioritaire de constitutionnalité

Le 21 décembre 2018, une question prioritaire de constitutionnalité a été posée au conseil constitutionnel par renvoi de la cour de cassation, concernant le respect des droits et libertés que la constitution garantit dans l'article 388 du code civil, résultant de la loi n° 2016-297 du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant [120].

La cour de cassation a initialement été sollicitée par monsieur ADAMA et ses avocats suite à une expertise d'âge, estimant qu'il n'était plus mineur et entraînant « *une mainlevée de la mesure placement* » [120].

Selon les requérants, l'article 388 du code civil modifié par la loi du 14 mars 2016 ne prendrait pas en compte l'intérêt supérieur de l'enfant du fait du manque de fiabilité des tests osseux, de l'irradiation à un but non thérapeutique, le caractère invasif des examens, qu'elle aboutirait à une divulgation de données médicales et que la notion de « *documents d'identité valables* » ne serait pas assez clairement définie [120].

A ce moment, l'avenir de la pratique de l'estimation de l'âge osseux devenait donc compromis et le jugement du conseil constitutionnel possédait le pouvoir d'influencer cette pratique.

Une réponse a été rendue le 21 mars 2019 [121]. Le conseil a cependant décidé que l'article 388 du code civil était conforme à la constitution permettant la poursuite des estimations médicales de l'âge osseux en France.

Elle précisait que les examens médicaux ne pouvaient être requis que par les autorités judiciaires compétentes, lorsque des documents d'identité étaient jugés non valables, après consentement de l'intéressé et que ces tests, au vu des données de la science actuelle, pouvaient comporter des marges d'erreur significatives, prise en compte par les législateurs, afin que le doute bénéficie toujours à l'intéressé [121]

Le caractère mineur ou majeur en revient donc toujours à l'autorité judiciaire malgré les examens médicaux.

Ainsi au vu de toutes ces mesures entourant l'article 388 du code civil et les conditions de réalisation des examens osseux, le conseil constitutionnel a estimé que celui-ci n'allait pas à l'encontre de l'intérêt supérieur de l'enfant mais en sa faveur.

CONCLUSION

Les demandes judiciaires d'estimation d'âge chez les sujets vivants sont en nette augmentation depuis l'afflux important de jeunes personnes, se déclarant mineurs, sur le territoire français. Ces jeunes personnes, bien souvent démunies de papiers d'identité, doivent faire la preuve de leur minorité afin de bénéficier d'une protection qu'ils ne pourraient prétendre s'ils étaient majeurs. Si des doutes persistent sur l'identité de ces individus, la société peut faire appel aux médecins légistes, au sein d'une unité médico-judiciaire, afin que soit estimés leurs âges. Il s'agit d'actes médicaux dans un contexte judiciaire. Le médecin devient alors auxiliaire de justice et doit de répondre à la mission qui lui est demandée.

De manière globale en France, les médecins légistes en France, hormis quelques centres, suivent assez peu les recommandations de la société de médecine légale allemande, c'est-à-dire, la réalisation d'un examen physique en reprenant des données anthropométriques tel que le poids et la taille, la détection d'éventuelles pathologies pouvant jouer sur la croissance de l'individu (antécédents médicaux et chirurgicaux, prise de traitements), un examen par radiographie de la main et du poignet gauche (ou droite pour les gauchers), un examen clinique de la dentition associé à un orthopantomogramme et une imagerie de la clavicule (par radiographie standard ou scanner) lorsqu'il existe une fusion complète de la main et du poignet.

Des formations et recommandations de sociétés savantes sont nécessaire afin d'harmoniser les pratiques.

Cependant, ces méthodes présentent des limites non négligeables, connus, comme la variabilité inter et intra-observateur, que nous confirmons par notre étude CLIVAGE. Pour autant, toutes ces limites ont été reconnues comme favorisant l'intérêt supérieur de ces enfants par le conseil constitutionnel puisque les doutes bénéficient toujours à l'intéressé.

Il est important de poursuivre les recherches dans ce domaine en adaptant les tests statistiques mais également en favorisant, dans toutes les limites possibles, les techniques non irradiantes telles que l'imagerie par résonance magnétique.

De plus, la création du nouveau Diplôme d'Etudes Spécialisées en Médecine légale en 2017, pourrait permettre une harmonisation de la formation des internes de France après un consensus auprès d'experts médecins légistes, radiologues, odontologues, pédiatres et endocrinologues.

Bien que notre étude vise avant tout le corps médical, elle peut également s'adresser à tous les acteurs de la prise en charge de ces mineurs non accompagnés : responsables politiques, juges pour enfants, procureurs de la république, conseil départemental (président et employés), éducateurs, associations et interprètes.

BIBLIOGRAPHIE

1. L Martrille, E Baccino. Age estimation in the living. In: Payne-James J, Byard RW, Corey TS et al. (eds). Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine, volume 1. Oxford: Elsevier 2005: 17-21.
2. République Française. Circulaire du 31 mai 2013 relative aux modalités de prise en charge des jeunes isolés étrangers. Bulletin officiel n°2013-06 du 28 juin 2013
3. L. Martrille, É. Baccino, Chapitre 20 - Estimation de l'âge chez le vivant, In Médecine Légale Clinique, Elsevier Masson, Paris, 2014, Pages 277-283
4. Roche, A. F., & Johnson, J. M. A comparison between methods of calculating skeletal age (Greulich-Pyle). American Journal of Physical Anthropology. 1969; 30(2): 221–229.
5. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, et al. Influence of the examiner's qualification and sources of error during stage determination of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography. International Journal of Legal Medicine. janv 2014;128(1):183-91
6. Haut-Commissariat des Nations Unis pour les Réfugiés. Note sur les politiques et procédures à appliquer dans le cas des enfants non accompagnés en quête d'asile. Genève ; 1997.
7. Haut-Commissariat des Nations Unis. Convention relative aux droits de l'enfant du 20 novembre 1989.
8. Assemblée parlementaire du conseil de l'Europe. Problèmes liés à l'arrivée, au séjour et au retour d'enfants non accompagnés en Europe. 1969 revu en 2011.
9. Conseil de l'Union Européenne. Article 1 de sa Résolution du 26 juin 1997 concernant les mineurs non accompagnés ressortissants de pays tiers. Journal officiel n° C 221 du 19/07/1997 p. 0023 - 0027.
10. République Française. Loi n°2016-297 du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant. Journal officiel n° 0063 du 15 mars 2016
11. Haut-Commissariat des Nations Unis. Convention de Genève du 28 juillet 1951 relative au statut des réfugiés. Genève. 1954
12. Commission Européenne. Programme de l'Union en matière de droits de l'enfant. Bruxelles. 2011
13. Bruno Py, Laurent Martrille. IM-AGE L'imagerie médicale et l'estimation de l'âge du mineur. PUN-Editions universitaires de Lorraine. 2017. 172 p.

14. Unicef. France. Protection de l'enfant contre la violence, l'exploitation et les abus [En ligne]. Disponible sur : https://www.unicef.org/french/education/57929_67803.html. Consultée le 23/08/2020
15. EuroStat, office statistique de l'Union Européenne. Communiqué de Presse relative aux demandeurs d'asile considérés comme mineurs non accompagnés en 2018. Paru le 26 avril 2019.
16. Ministère de la Justice Française. Rapport annuel d'activité 2019: Mission mineurs non accompagnés. Paru en mai 2020.
17. Légifrance. France. Code de la Justice pénale des mineurs. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000039086952&idSectionTA=&dateTexte=20210331>. Consulté le 23/08/2020
18. Acheson RM. A method of assessing skeletal maturity from radiographs; a report from the Oxford child health survey. *J Anat.* 1954;88:498–508
19. Beauthier. *Traité de médecine légale*. 2^{ème} édition. De Boeck; 2011. 1054 p.
20. McKern TW, Stewart TD. Skeletal age changes in young American males analyzed from the standpoint of age determination. Technical Report EP-45. Environmental Protection Research Division, HQ=Quartermaster Research and Development Command, United States Army, Natick, MA. 1957, 179 p.
21. Pauline Saint Martin. Apport de l'imagerie par résonance magnétique dans la détermination de l'âge chez le sujet vivant. Université de Toulouse; 2014.
22. C. Rousseau. Les premières manifestations de l'utilisation du rayonnement de Rontgen en art dentaire. Disponible sur : <https://www.biusante.parisdescartes.fr/sfhad/vol4/art09/article.htm> Consulté le 24/05/2020
23. Pryor J. W. Order of ossification of the bones of the human carpus. *Bull. St. Coll. Kentucky (New Series)*. 1908
24. Davies DA, Parsons FG. The age order of the appearance and union of the normal epiphyses as seen by X rays. *J Anat.* 1927;62:58–71
25. Paterson RS. A radiological investigation of the epiphyses of the long bones. *J Anat.* 1929;64:28–46
26. Sidhom G, Derry DE. The Dates of Union of some Epiphyses in Egyptians from X-ray Photographs. *J Anat.* 1931 Jan;65(Pt 2):196–211
27. Flecker H. Roentgenographic observations of the times of appearance of epiphyses and their fusion with the diaphyses. *J Anat* 1932–1933;67:118–164

28. Todd TW. Atlas of Skeletal Maturation. 1st ed. St. Louis: CV Mosby; 1937
29. Greulich W.W, Pyle S.I. Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. Stanford University Press. 1950.
30. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke K-D, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. International Journal of Legal Medicine. 1 févr 2004;118(1):5-8.
31. Levebvre J, Koifman A. Etude de l'apparition des points osseux secondaires et détermination de l'âge osseux. Arch Fr Pediatr. 1956 ; 13: 1101-1105.
32. Sauvegrain J, Nahum H, Bronstein N. Étude de la maturation osseuse du coude. Ann Radiol 1962;5:542-50
33. Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR. A new system for estimating skeletal maturity from the hand and wrist, with standards derived from a study of 2600 healthy british children. Paris: Centre International de l'enfance. 1962
34. Chaumoitre K, Saliba-Serre B, Adalian P, Signoli M, Leonetti G, Panuel M. Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance. Eur Radiol. mars 2017;27(3):1032-43.
35. Tisè M, Mazzarini L, Fabrizzi G, Ferrante L, Giorgetti R, Tagliabracci A. Applicability of Greulich and Pyle method for age assessment in forensic practice on an Italian sample. Int J Legal Med. mai 2011;125(3):411-6.
36. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Pfeiffer H, Schmeling A. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. Int J Legal Med. juill 2010;124(4):321-5.
37. Todd TW, D'Errico. The clavicular epiphyses. Am J Anat. 1928 ; 41: 25±50
38. McKern TW, Stewart TD. Skeletal age changes in young American males. Analysed from the standpoint of age identification. In: Technical report EP-45. Quartermaster Research and Development Center, Environmental Protection Research Division, Natick, Mass. 1957 ; 89±97
39. Owings Webb PA, Myers Suchey J. Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. Am J Phys Anthropol. 1985; 68: 457±466
40. Ji L, Terazawa K, Tsukamoto T, Haga K. Estimation of age from epiphyseal union degrees of the sternal end of the clavicle. Hokkaido Igaku Zasshi. 1994; 69:104–111

41. Black, S., & Scheuer, L. Age Changes in the Clavicle: From the Early Neonatal Period to Skeletal Maturity. *International Journal of Osteoarchaeology*. 1996; 6 :425-434.
42. Jit I, Kulkarni M. Times of appearance and fusion of epiphysis at the medial end of the clavicle. *Indian J Med Res*. 1976 ; 64: 773–782
43. Kreitner K-F, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *European Radiology*. 2 sept 1998; 8(7):1116-22.
44. Pryor JW. Difference in the ossification of the male and female skeleton. *J Anat*. 1928; 62(4): 499-506
45. Schulz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmeling A. Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. *Int J Legal Med*. mai 2005;119(3):142-5.
46. Mühler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W. The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Leg Med*.2006 ; 120: 15-17.
47. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, et al. The value of sub-stages and thin slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. *Forensic Sci Med Pathol*. juin 2014;10(2):163-9.
48. Tanner JM. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method). London; New York: Academic Press.1975
49. Tanner JM, Healy JR, Goldstein H, Cameron N. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). London; Saunders.2001
50. Risser JC. The iliac apophysis: an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop*. 1958; 11: 111-119.
51. Wittschieber D, Schmeling A, Schmidt S, Heindel W, Pfeiffer H, Vieth V. The Risser sign for forensic age estimation in living individuals: a study of 643 pelvic radiographs. *Forensic Sci Med Pathol*. mars 2013;9(1):36-43.
52. Chaumoître K, Colavolpe N, Sayegh-Martin Y, Pernoud N, Dutour O, Panuel M. Fiabilité de la détermination de l'âge osseux par la méthode de Sauvegrain et Nahum. *Journal de Radiologie*. nov 2006;87(11):1679-82.
53. Piette E, et Reychler H. *Traité de pathologies buccale et maxillo-faciale*. Bruxelles, Paris : De Boeck Université. 1991.
54. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol*. 1973 ; 45: 221-227.

55. Rantanen, A. V., "The Age of Eruption of the Third Molar Teeth: A Clinical Study Based on Finnish University Students," *Acta Odontologica Scandinavica*, Vol. 25, Suppl. 48, 1967, pp. 1-86.
56. Anderson, D. L., Thompson, G. W., and Popovich, R., "Age of Attainment of Mineralization Stages of the Permanent Dentition," *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 21, No. 1, 1977, pp. 191-200.
57. Nolla, C. M., "The Development of the Permanent Teeth," *Journal of Dentistry for Children*, Vol. 27, No. 4, 1960, pp. 254-266.
58. Hurme, V. O., "Standards of Variation in the Eruption of the First Six Permanent Teeth," *Child Development*, Vol. 19, No. 4, 1948, pp. 213-231.
59. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE. The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci.* 1993 ; 38: 379-390
60. Olze A, van Niekerk P, Schulz R, Ribbecke S, Schmelting A. The influence of impaction on the rate of third molar mineralisation in male black Africans. *Int J Legal Med.* nov 2012;126(6):869-74.
61. Gravely, J. F., "A Radiographic Survey of Third Molar Development," *British Dental Journal*, Vol. 119, No. 9, 1965, pp. 397-401.
62. Garn, S. M. and Smith, B. H., "Patterned Asymmetry in Tooth Emergence Timing," *Journal of Dental Research*, Vol. 59, No. 9, 1980, pp. 1526-1527.
63. Levesque, G.-Y., Demirjian, A., and Tanguay, R., "Sexual Dimorphism in the Development, Emergence and Agenesis of the Mandibular Third Molar," *Journal of Dental Research*, Vol. 60, No. 10, 1981, pp. 1735-1741.
64. Boas, F., "Studies in Growth, II," *Human Biology*, Vol. 5, No. 3, 1933, pp. 429-444
65. Garn, S. M. and Clark, D. C., "Nutrition, Growth, Development and Malnutrition: Findings from the Ten-State Nutritional Survey of 1968-1970," *Pediatrics*, Vol. 56, No. 2, 1975, pp. 306-319.
66. Harris, E. F. and McKee, J. H., "Tooth Mineralization Standards for Blacks and Whites from the Middle Southern United States," *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 35, No. 4, 1990, pp. 859-872.
67. Cameriere, R., Ferrante, L, Cingolani, M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med.* 2006; 120: 49–52
68. Lan LM, Yang ZD, Sun SL, et al. Application of Demirjian's and Cameriere's Method in Dental Age Estimation of 8-16 Year Old Adolescents from Hunan Han Nationality. *Fa Yi Xue Za Zhi.* 2019;35(4):406-410

69. Pratyusha K, Prasad MG, Radhakrishna AN, Saujanya K, Raviteja NV, Chandrasekhar S. Applicability of Demirjian's Method and Modified Cameriere's Methods for Dental Age Assessment in Children. *J Clin Diagn Res.* 2017;11(2):ZC40-ZC43.
70. R. Cameriere, L. Ferrante, D. De Angelis, F. Scarpino, F. Galli, The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18-year-olds in living subjects, *Int. J. Legal Med.* 2008; 122: 493–497
71. Gleiser I, Hunt EE. The permanent mandibular first molar: Its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol.* juin 1955;13(2):253-83.
72. Fanning EA. Third molar emergence in Bostonians. *Am J Phys Anthropol.* 1962 ; 20:339–346
73. Moorrees CFA, Fanning EA, Hunt EE. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res.* 1963 ; 42:1490– 1502
74. Tanner, J. M. *Growth at Adolescence*, 2nd ed. Blackwell, Oxford. 1962
75. Marshall W.A., Tanner J.M. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch. Dis. Child.* 1969;44(235):291–303
76. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the Pattern of Pubertal Changes in Boys. *Archives of Disease in Childhood.* 1 févr 1970;45(239):13-23
77. Schmeling A, Kaatsch H-J, Marré B, Reisinger W, Riepert T, RitzTimme S, Rösing F.W, Rötzscher K, Geserick G, Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren, *Rechtsmedizin* 11; 2001: 1–3
78. E. Sironi.J. Vuille. F. Taroni. Estimation forensique de l'âge des jeunes migrants. Une note sur la scientificité des méthodes employées en Suisse. 2018.
79. David A Schum, *The evidential foundations of probabilistic reasoning.* John Wiley & Sons : New York, 1994
80. Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G. Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *Int J Legal Med.* 2000; 113:253–258
81. Meijerman L, Maat GJR, Schulz R, Schmeling A. Variables affecting the probability of complete fusion of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med.* 10 oct 2007;121(6):463-8.
82. Mora S, Boechat MI, Pietka E, Huang HK, Gilsanz V. Skeletal Age Determinations in Children of European and African Descent: Applicability of the Greulich and Pyle Standards. *Pediatr Res.* nov 2001;50(5):624-8.

83. Zhang A, Sayre JW, Vachon L, Liu BJ, Huang HK. Racial Differences in Growth Patterns of Children Assessed on the Basis of Bone Age. *Radiology*. janv 2009;250(1):228-35.
84. Mansourvar M, Ismail MA, Raj RG, Kareem SA, Aik S, Gunalan R, et al. The applicability of Greulich and Pyle atlas to assess skeletal age for four ethnic groups. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. févr 2014;22:26-9.
85. Tisè M, Mazzarini L, Fabrizzi G, Ferrante L, Giorgetti R, Tagliabracci A. Applicability of Greulich and Pyle method for age assessment in forensic practice on an Italian sample. *Int J Legal Med*. mai 2011;125(3):411-6.
86. Soudack M, Ben-Shlush A, Jacobson J, Raviv-Zilka L, Eshed I, Hamiel O. Bone age in the 21st century: is Greulich and Pyle's atlas accurate for Israeli children? *Pediatr Radiol*. mars 2012;42(3):343-8.
87. Cantekin K, Celikoglu M, Miloglu O, Dane A, Erdem A. Bone Age Assessment: The Applicability of the Greulich-Pyle Method in Eastern Turkish Children: BONE AGE ASSESSMENT IN TURKISH CHILDREN. *Journal of Forensic Sciences*. mai 2012;57(3):679-82.
88. Moradi M, Sirous M, Morovatti P. The reliability of skeletal age determination in an Iranian sample using Greulich and Pyle method. *Forensic Science International*. nov 2012;223(1-3):372.e1-372.e4.
89. Patil ST, Parchand MP, Meshram MM, Kamdi NY. Applicability of Greulich and Pyle skeletal age standards to Indian children. *Forensic Science International*. mars 2012;216(1-3):200.e1-200.e4.
90. Hackman L, Black S. The Reliability of the Greulich and Pyle Atlas When Applied to a Modern Scottish Population. *Journal of Forensic Sciences*. janv 2013;58(1):114-9.
91. Paxton ML, Lamont AC, Stillwell AP. The reliability of the Greulich-Pyle method in bone age determination among Australian children: Bone age determination using Greulich-Pyle. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*. févr 2013;57(1):21-4.
92. Zabet D, Rérolle C, Pucheux J, Telmon N, Saint-Martin P. Can the Greulich and Pyle method be used on French contemporary individuals? *Int J Legal Med*. janv 2015;129(1):171-7.
93. Olze A, Reisinger W, Geserick G, Schmeling A. Age estimation of unaccompanied minors. *Forensic Science International*. mai 2006;159:S65-7.
94. Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. Age estimation of unaccompanied minors. *Forensic Science International*. mai 2006;159:S61-4.

95. Chaumorre K, Lamtali S, Baali A, Dutour O, Boetsch G, Garel L, et al. RP-WS-25 Estimation de l'âge osseux par l'atlas de greulich et pyle: comparaison de 3 échantillons contemporains d'origine géographique différente. *Journal de Radiologie*. oct 2007;88(10):1596.
96. Axelsson I. Bone maturation cannot be used to estimate chronological age in asylum-seeking adolescents. *Acta Paediatr* 2019; 108: 590–2.
97. Haglund M, Garamendi González PM. A problematic dismissal of forensic age estimation. *Acta Paediatr*. janv 2020;109(1):207-207.
98. D.G. King, D.M. Steventon, M.P. O'Sullivan, A.M. Cook, V.P. Hornsby, I.G. Jefferson, Reproducibility of bone ages when performed by radiology registrars: an audit of Tanner and Whitehouse II versus Greulich and Pyle methods, *Br. J. Radiol.* 1994; 67: 848–851.
99. Lynnerup N, Belard E, Buch-Olsen K, Sejrsen B, Damgaard-Pedersen K. Intra- and interobserver error of the Greulich–Pyle method as used on a Danish forensic sample. *Forensic Science International*. août 2008;179(2-3):242.e1-242.e6.
100. Roche AF, Davila GH, Pasternack BA, Walton MJ. SOME FACTORS INFLUENCING THE REPLICABILITY OF ASSESSMENTS OF SKELETAL MATURITY (GREULICH-PYLE). *American Journal of Roentgenology*. juin 1970;109(2):299-306.
101. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Sayin I, Solmaz D, Bilgili MG, Can IO. Forensic age estimation by the Schmeling method: computed tomography analysis of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med*. 2015; 129:203–210.
102. Franklin D, Flavel A (2015) CT evaluation of timing for ossification of the medial clavicular epiphysis in a contemporary Western Australian population. *Int J Legal Med*. 2015; 129:583–594
103. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Can IO, Aksoy S, Sayin I. Estimation of forensic age using substages of ossification of the medial clavicle in living individuals. *Int J Legal Med*. 2015; 129:1259–1264
104. Houpert T, Rérolle C, Savall F, Telmon N, Saint-Martin P. Is a CT-scan of the medial clavicle epiphysis a good exam to attest to the 18-year threshold in forensic age estimation? *Forensic Sci Int*. 2016; 260:103.e1–103.e3. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.007>.
105. Gurses MS, Inanir NT, Gokalp G, Fedakar R, Tobcu E, Ocakoglu G. Evaluation of age estimation in forensic medicine by examination of medial clavicular ossification from thin-slice computed tomography images. *Int J Legal Med*. 2016; 130:1343–1352.
106. Ramadan SU, Gurses MS, Inanir NT, Hacifazlioglu C, Fedakar R, Hizli S. Evaluation of the medial clavicular epiphysis according to the Schmeling and Kellinghaus method in living individuals: a retrospective CT study. *Leg Med (Tokyo)*. 2017 ; 25:16–22

107. Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Ishii N, Inokuchi G, Motomura A, et al. Age estimation based on maturation of the medial clavicular epiphysis in a Japanese population using multidetector computed tomography. *Legal Medicine*. mars 2019;37:28-32.
108. Graham, P. and Jackson, R.. The analysis of ordinal agreement data: beyond weighted kappa. *J Clin Epidemiol*. 1993; 46:1055-62.
109. Wongpakaran N, Wongpakaran T, Wedding D, Gwet KL. A comparison of Cohen's Kappa and Gwet's AC1 when calculating inter-rater reliability coefficients: a study conducted with personality disorder samples. *BMC Med Res Methodol*. déc 2013;13(1):61.
110. Gwet KL. Testing the Difference of Correlated Agreement Coefficients for Statistical Significance. *Educational and Psychological Measurement*. août 2016;76(4):609-37.
111. Comité Consultatif National d'Éthique pour les Sciences de la Vie et de la Santé. Avis n°88 sur les méthodes de détermination de l'âge à des fins juridiques. 2005.
112. Académie de médecine. Rapport 07-01 sur la fiabilité des examens médicaux visant à déterminer l'âge à des fins judiciaires et la possibilité d'amélioration en la matière pour les mineurs étrangers isolés. 2007. Disponible sur <http://www.academie-medecine.fr/07-01-sur-la-fiabilite-des-examens-medicaux-visant-a-determiner-lage-a-des-fins-judiciaires-et-la-possiblite-damelioration-en-la-matiere-pour-les-mineurs-etrangers-isoles/> Consulté le 25/05/2020
113. « Haut Conseil de la santé publique (HCSP) - Avis relatif à l'évaluation de la minorité d'un jeune étranger isolé - 23 janvier 2014 », *Journal du droit des jeunes*, vol. 338-339, no. 8, 2014, pp. 105-108
114. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, König M, Geserick G. Statistical analysis and verification of forensic age estimation of living persons in the Institute of Legal Medicine of the Berlin University Hospital Charité. *Leg Med (Tokyo)*. mars 2003;5 Suppl 1:S367-371.
115. European Asylum Support Ofce. Guide pratique d'EASO sur l'évaluation de l'âge. 2ème édition. 2019.
116. Réseau Européen des Migrations. Rapport de synthèse de l'étude ciblée du REM 2014 sur les politiques, pratiques et données statistiques sur les mineurs isolés étrangers dans les États membres de l'UE et en Norvège. 2015.
117. Inspection général des affaires sociales, Inspection générale de la justice, Assemblée des départements de France, Inspection générale de l'administration. Rapport de la mission bipartite de réflexion sur les mineurs non accompagnés. 2018. 71p
118. Tozakidou M, Apine I, Petersen KU, Weinrich JM, Schindera S, Jopp-van Well E, et al. Comparison of different iterative CT reconstruction techniques and filtered back projection for assessment of the medial clavicular epiphysis in forensic age estimation. *Int J Legal Med*. janv 2020;134(1):355-61.

119. Scharte P, Vieth V, Schulz R, Ramsthaler F, Püschel K, Bajanowski T, et al. Comparison of imaging planes during CT-based evaluation of clavicular ossification: a multi-center study. *Int J Legal Med.* sept 2017;131(5):1391-7.

120. Cour de Cassation. Arrêt n°1242 du 21 décembre 2018 (18-20.480). Disponible sur : https://www.courdecassation.fr/jurisprudence_2/qpc_3396/1242_21_41011.html. Consulté le 21/07/2020

121. Conseil constitutionnel. Décision n° 2018-768 QPC du 21 mars 2019. Disponible sur : <https://www.conseil-constitutionnel.fr/decision/2019/2018768QPC.htm>. Consulté le 21/07/2020

ANNEXE

Annexe 1 : Exemple de rapport type d'estimation de l'âge au sein du CHRU de Nancy

AIDE REDACTION DU RAPPORT

Adapter la rédaction à chaque cas.

1- COMMÉMORATIFS

- La communication avec l'intéressé est impossible du fait de la barrière de la langue et de
- L'intéressé parlant le français, l'information sur notre mission d'estimation de l'âge a pu lui être délivrée et le consentement obtenu.

ou

- Un interprète est présent lors de la consultation permettant une bonne compréhension du patient. L'information sur notre mission d'estimation de l'âge a pu lui être délivrée et le consentement obtenu

Selon ses dires et d'après les éléments de la réquisition, Monsieur/Madame ... serait né le ... à ... et serait donc âgé de ...

Antécédents :

L'intéressé ne rapporte aucun antécédent pouvant perturber l'évolution de la croissance.

ou

L'intéressé présenterait dans ses antécédents...

2- EXAMEN CLINIQUE

Monsieur/Madame ... pèse ...kg pour une taille de ... L'index de masse corporelle est de...

| Category | BMI (kg/m ²) | |
|---------------------------------------|--------------------------|------|
| | from | to |
| Very severely underweight | | 15 |
| Severely underweight | 15 | 18 |
| Underweight | 18 | 18.5 |
| Normal (healthy weight) | 18.5 | 25 |
| Overweight | 25 | 30 |
| Obese Class I (Moderately obese) | 30 | 35 |
| Obese Class II (Severely obese) | 35 | 40 |
| Obese Class III (Very severely obese) | 40 | |

L'intéressé semble être en bon état général.

L'examen clinique ne retrouve aucune pathologie manifestement visible pouvant perturber l'évolution de la croissance de l'intéressé.

Donner si nécessaire, une description clinique en fonction des cas ou des pathologies rencontrées pouvant interférer avec la croissance

L'examen clinique endobuccal retrouve la présence/l'absence des dents n° 18 n°28 n°38 et n°48.

3- ANALYSE DES EXAMENS RADIOGRAPHIQUES

Après avoir pris connaissance, si possible, du bilan radiographique réalisé par le professeur Blum en date du ...

Radiographie du poignet/main gauche de face :

- *En fonction du stade, par exemple* : Selon l'Atlas de GREULICH et PYLE, compte tenu du fait que les épiphyses du poignet de la main sont entièrement fusionnées, le cliché qui nous est présenté correspond à la planche dix-neuf ans (âge osseux). Selon Chaumoire, l'âge osseux est de 19,35 ans +/- 2,4 ans, sachant que la littérature indique par ailleurs (Schmeling 2016) qu'un individu dont les épiphyses du poignet de la main sont entièrement fusionnées peut avoir exceptionnellement mais possiblement 16 ans.

Panoramique dentaire :

- *En fonction du stade, par exemple*
 - o Selon la méthode de DEMIRJIAN (1973), compte tenu du fait que les racines sont totalement fermées et que le ligament parodontal est uniformément développé autour de la racine, il s'agit d'un stade H.
 - o Selon l'article de Olze (2012), en se basant sur les 3^{ème} molaires de la mandibule, ce stade correspond à un âge de 22.91 ans +/- 1,96 années, avec un minimum de 17,38 ans

Ou

- o Selon la méthode de DEMIRJIAN (1973), compte tenu du fait que les racines sont totalement fermées et que le ligament parodontal est uniformément développé autour de la racine, il s'agit d'un stade G.
- o Selon l'article de Olze (2012), en se basant sur les 3^{ème} molaires de la mandibule, ce stade correspond à un âge de 20.25 ans +/- 2,17 années, avec un minimum de 17,38 ans

TDM des clavicules :

- *En fonction du stade, par exemple* : Compte tenu du fait que les épiphyses internes claviculaires ne sont pas complètement fusionnées, il s'agit d'un stade III de SCHMELING (2004), qui correspond selon la table de Wittschieber (2014) à un âge de 22,2 +/- 3,2 avec un minimum de 16,4 ans et un maximum de 36,5 ans.

Ou

Compte tenu du fait que les épiphyses internes claviculaires sont fusionnées mais qu'il persiste ligne hyperdense en regard de la zone épiphysaire, il s'agit d'un stade IV de SCHMELING (2004), qui correspond selon la table de Wittschieber (2014) à un âge de 29,7 +/- 5,1 avec un minimum de 21,6 ans et un maximum de 40,5 ans.

4- DISCUSSION-CONCLUSION

L'examen clinique et l'examen des différents clichés radiographiques de Monsieur/Madame se disant être ... et être né le ... permettent les appréciations suivantes :

Faire une discussion en tenant compte des exemples ci-dessous :

Exemple : GP 18-19, Mincer G, Schmeling Stade II

- En tenant compte de littérature et des protocoles en vigueur, il est **possible que l'intéressé soit majeur** au vu des résultats des examens radiologiques pratiqués, en l'absence manifeste de pathologie pouvant interférer avec la croissance. Cependant, compte tenu du manque de précision des méthodes, des variabilités interindividuelles et, dans ce cas, de l'absence de fusion des épiphyses claviculaires internes au scanner, cet individu peut également être mineur.
- Par ailleurs, l'âge allégué de 16 ans est compatible avec nos constatations médico-légales.

Exemple : GP 18-19, Mincer H, Stade III Schmeling

- Au vu de littérature et des protocoles en vigueur, il est ~~très~~ **probable que l'intéressé soit majeur** au vu des résultats des examens radiologiques pratiqués en l'absence manifeste de pathologie pouvant interférer avec la croissance. Cependant, compte tenu du manque de précision des méthodes, des variabilités interindividuelles et, dans ce cas, la fusion partielle des épiphyses claviculaires internes au scanner, on ne peut pas totalement éliminer qu'il soit mineur.
- Par ailleurs, l'âge allégué de 16 ans n'est vraisemblablement pas compatible avec nos constatations médico-légales.

Exemple : GP 18-19, Mincer H, Stade IV ou V Schmeling

- Au vu de littérature et des protocoles en vigueur, **on peut conclure, au-delà de tout doute raisonnable, que l'intéressé est majeur** au vu des résultats des examens radiologiques pratiqués, en l'absence manifeste de pathologie pouvant interférer avec la croissance.
- Par ailleurs, l'âge allégué de 17 ans n'est pas compatible avec nos constatations médico-légales.

VU

NANCY, le 16 septembre 2020
Le Président de Thèse

NANCY, le 22 septembre 2020
Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur Alain BLUM

Professeur Marc BRAUN

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/ 11419C

NANCY, le 1^{er} octobre 2020

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE,

Professeur Pierre MUTZENHARDT

RESUME DE LA THESE

Introduction : Le scanner de clavicules est l'une des méthodes recommandées, par le Groupe d'étude sur les diagnostics médico-légaux de l'âge de la société allemande de médecine légale (AGFAD), à des fins d'estimations d'âge chez les sujets jeunes vivants, dès lors qu'il est retrouvé un poignet gauche totalement fusionné en radiographie standard. Notre étude a pour but d'évaluer la variabilité inter et intra-observateur concernant la détermination du stade d'ossification des épiphyses médiales claviculaires au scanner

Matériels et méthodes : Comparaison de la classification de Schmeling (2004) d'une part et de Kellinghaus (2010) d'autre part, entre plusieurs médecins légistes d'une Unité Médico-Judiciaire et un médecin légiste expert référent. Il s'agit d'une étude rétrospective incluant 381 scanners de clavicules effectués dans le cadre d'expertise d'estimation de l'âge. Un accord de concordance a été calculé, à l'aide du test GWET'S AC2.

Résultats : Un indice de concordance interobservateur fort lors de l'utilisation de la classification de Schmeling (Gwet'AC2 = 0,77) et modéré pour celle de Kellinghaus (Gwet's AC2 = 0,66) ont été retrouvés. Concernant la concordance intra observateur, un Gwet'AC2 à 0,90 en utilisant la classification de Schmeling et 0,82 pour celle de Kellinghaus ont été retrouvés.

Conclusion : Malgré la présence d'indice de concordance acceptable dans notre étude, il persiste un certain nombre de confusion entre stade, ce qui peut engendrer des erreurs lors des expertises d'estimation de l'âge. Ces erreurs peuvent être dues la présence d'artéfacts sur les images et un manque de formation et de pratiques des médecins légistes.

TITRE EN ANGLAIS

Evaluation of inter and intra-observer variability during ossification stage of the medial clavicular epiphysis by computed tomography.

THESE: MEDECINE SPECIALISEE-ANNEE 2020

MOTS CLEFS

Estimation de l'âge, méthode de Schmeling, épiphyse médiale des clavicules, variabilité inter-observateurs et intra-observateurs, scanner.

ADRESSE DE L'UFR :

Université de Lorraine
Faculté de Médecine de Nancy
9, avenue de la forêt de Haye
54504 VANDOEUVRES-LES-NANCY Cedex