



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

جامعة قسنطينة

Université Constantine 3

كلية الطب

Faculté de Médecine

THESE DE DOCTORAT

EN SCIENCES MEDICALES

**EVALUATION DE L'AGE OSSEUX PAR L'UTILISATION DE L'ATLAS  
DE GREULICH ET PYLE CHEZ LA POPULATION ALGERIENNE  
AGEE DE 12 A 18 ANS.**

Présentée par **ELHADJ TAHAR Abdelkrim**

pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Médicales

en Médecine Légale, Droit Médical et Éthique

Soutenue le : 16 Décembre 2025

**Directeur de thèse : BOUDRAA Zohra**, Professeur en Médecine Légale, Droit Médical et Éthique, CHU Constantine

**JURY**

**Pr. BENABBAS EL Mounsif**, Médecine légale, CHU Batna

Président

**Pr. KAIIOUS Fateh**, Médecine Légale, CHU Annaba

Membre

**Pr. LAHOUEL Ammar**, Médecine Légale, HMRU Blida

Membre

**Pr. FEROUJ Abderrazak**, Médecine Légale, CHU Constantine

Membre

**Pr. ALI TALEB Mohammed**, Médecine Légale, HMRU Constantine

Membre

Année universitaire 2025/2026

# Dédicaces 1

---

Cette thèse est dédiée

À ma mère et à la mémoire de mon père qu'Allah lui accorde Sa miséricorde et Son pardon.

En témoignage de ma profonde gratitude, et ma reconnaissance pour leur amour et leurs sacrifices qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

À la mémoire de mes Grands-Parents Qu'Allah leur accorde Sa miséricorde et Son pardon.

À mon Épouse et mes Enfants

À mes Frères, mes Sœurs, mes Proches et mes Amis

À mes Maîtres, mes Enseignants et mes Collègues

À la mémoire de toutes les personnes qui nous sont chères.

## Remerciements

---

Mes remerciements sont destinés :

En premier lieu à ma directrice de thèse le

Professeur

**BOUDRAA Zohra,**

pour avoir accepté la direction de ce travail.

Merci pour votre patience et votre gentillesse.

Merci pour le partage de vos connaissances avec moi et

Merci de m'accompagner tout au long de ce travail.

# Remerciements

---

Au Professeur

**BENABBAS EL Mounsif,**

je vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury.

Vous avez toute mon estime et mon profond respect

# Remerciements

---

Au Professeur

**KAOUIS FATEH,**

d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Veillez trouver ici ma reconnaissance et mon  
profond respect.

# Remerciements

---

Au Professeur

**LAHOUEL AMMAR,**

Je vous remercie de siéger dans ce jury.

Merci pour vos conseils, votre écoute  
et votre disponibilité permanente.

# Remerciements

---

Au Professeur

**FEROUI ABDERRAZAK**

d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Veillez trouver ici ma reconnaissance et mon  
profond respect.

# Remerciements

---

Au Professeur

**ALI TALEB Mohammed,**

Je vous remercie d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Merci pour vos conseils, votre écoute  
et votre disponibilité permanente.

# Remerciements

---

Je tiens à adresser mes sincères remerciements :

Au Pr KAFI SAMI, Dr LAIB ZOHEIR et Dr ABDALI HAMZA pour leur contribution scientifique précieuse.

Aux professionnels de la santé militaire de l'école des cadets de Blida et de M'sila.

Et à tous ceux qui ont facilité mon travail.

À mes aînés et mes collègues de spécialité, ainsi qu'à tous mes collègues des autres spécialités, pour leur soutien constant et leurs encouragements tout au long de mon parcours professionnel.

À ma mère et à mon père dont la mémoire m'accompagne chaque jour, à mon épouse, mes proches et mes amis.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je vous exprime ma profonde reconnaissance et ma gratitude.

# Table des matières

---

<b>CHAPITRE</b>	<b>PAGE</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>i</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>..ii</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>ix</b>
<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>xv</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>...xx</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>ix</b>
<b>CHAPITRE 1</b>	
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1    Problématique.....	1
1.2    Intérêt de l'étude.....	3
1.3    Objectifs de l'étude.....	3
1.3.1    Objectif principal.....	3
1.3.2    Objectifs secondaires.....	3
<b>CHAPITRE 2</b>	
<b>REVUE DE LA LITTÉRATURE.....</b>	<b>5</b>
2.1    Définition de l'âge.....	5
2.2    L'anatomie et le développement osseux de la main et du poignet.....	6
2.2.1    Introduction.....	6
2.2.2    L'anatomie de la main et du poignet.....	7
2.2.2.1    Le radius et l'ulna.....	7
2.2.2.2    Les os de la main.....	9
2.2.2.3    Le développement et l'ossification des os long de la main.....	19
2.3    Facteurs influençant la maturation squelettique.....	22
2.3.1    La génétique.....	22
2.3.2    Le statut socio-économique.....	23

2.3.3	Le niveau d'accès aux soins médicaux.....	23
2.3.4	La nutrition .....	23
2.3.5	L'ethnicité.....	23
2.3.6	les hormones .....	23
2.4	La législation de l'âge.....	24
2.4.1	la législation internationale.....	24
2.4.1.1	L'enfant non accompagné ou mineur non accompagné : .....	24
2.4.1.2	enfant séparé .....	24
2.4.1.3	Principes applicables .....	24
2.4.2	La législation Algérienne.....	25
2.4.2.1	La responsabilité pénale du mineur .....	25
2.4.2.2	L'inscription à l'état civil.....	27
2.4.2.3	Le droit à la protection par un tuteur légal .....	28
2.4.2.4	Obligation de scolarité.....	29
2.4.2.5	L'âge au travail .....	29
2.4.2.6	L'âge au mariage.....	29
2.5	Les principes éthiques et déontologiques .....	29
2.6	Expertise médico-légale d'estimation d'âge.....	31
2.6.1	Introduction à l'expertise médico-légale .....	31
2.6.2	Les domaines d'application de l'estimation de l'âge .....	31
2.6.3	Les étapes de l'expertise médico-légale pour l'évaluation de l'âge chez le vivant	32
2.6.3.1	L'examen physique .....	32
2.6.4	Les différentes méthodes d'évaluation et techniques de Références .....	35
2.6.4.1	Les techniques basées sur la maturation osseuse du poignet et de la main ..	35
2.6.4.2	L'évaluation d'âge par L'étude de l'extrémité médiale de la clavicule .....	40
2.6.4.3	L'évaluation d'âge par L'étude de la crête iliaque : Classification de.....	41
Risser	.....	41
2.6.4.4	L'évaluation d'âge par L'étude du coude : .....	42
2.6.4.5	L'évaluation d'âge par L'étude du genou .....	42
2.6.4.6	L'étude de la première cote.....	43
2.6.4.7	L'évaluation d'âge par l'étude des vertèbres cervicales (cervical vertébral .	44
maturation (CVM)	.....	44
2.6.4.8	Les techniques odontologiques.....	44

2.6.5	L'expertise médico-légale d'estimation d'âge au décès.....	47
2.6.5.1	L'estimation de l'âge au décès à partir de l'extrémité sternale de la quatrième côte.....	47
	par Iscan.....	47
2.6.5.2	L'étude de la symphyse pubienne : méthode de Suchey-Brooks (MSB) .....	48
2.6.5.3	L'étude de la surface auriculaire de l'os iliaque : La méthode de Lovejoy...	49
2.6.5.4	La méthode de Meindl et Lovejoy (MML) : l'évaluation d'âge par l'analyse de la fermeture des sutures crâniennes .....	50
2.6.5.5	Estimation de l'âge dentaire en post mortem .....	50
2.6.6	L'estimation de l'âge par l'ADN.....	52
2.6.6.1	Les techniques de prélèvements d'ADN .....	52
2.6.6.2	L'estimation de l'âge par l'étude de la méthylation de l'ADN .....	53
2.6.6.3	L'estimation de l'âge par les télomères .....	53
2.6.6.4	L'estimation de l'âge par les mutations somatiques de l'ADN .....	53

## **CHAPITRE 3**

<b>MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>54</b>	
3.1	Présentation de l'étude.....	54
3.2	Type d'étude .....	54
3.3	Lieu de l'étude .....	54
3.4	Période de l'étude .....	54
3.5	Population d'étude.....	55
3.5.1	Les critères d'inclusion.....	55
3.5.2	Les critères de non-inclusion.....	55
3.5.3	Echantillonnage : .....	55
3.6	Éthique.....	56
3.7	Définition des variables étudiées .....	56
3.8	Méthode.....	58
3.8.1	Modalités pratiques de l'étude.....	58
3.8.1.1	Recueil des données.....	58
3.8.1.2	Réalisation du cliché.....	59
3.8.1.3	La collecte et le traitement des clichés .....	59
3.8.1.4	La lecture des clichés.....	59
3.8.1.5	Évaluation de l'échantillon.....	70

3.8.1.6	Première évaluation : .....	70
3.8.1.7	Evaluations pour le test inter observateur.....	70
3.8.1.8	Evaluations pour le test intra observateur.....	70
3.9	Saisie des données et analyse statistique .....	71

## CHAPITRE 4

<b>RESULTATS .....</b>	<b>72</b>	
4.1	Population de l'étude .....	72
4.1.1	Répartition selon le sexe.....	72
4.1.2	Répartition selon l'âge.....	72
4.1.3	Répartition de l'échantillon par classe d'âge.....	73
4.1.4	Répartition de l'échantillons par classe d'âge et par sexe .....	73
4.1.5	. Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique .....	75
4.1.6	Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par sexe .....	76
4.1.7	4.1.6 Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par classe d'âge	76
4.1.8	Répartition de l'échantillon selon le statut socio-économique.....	77
4.1.9	Répartition de l'échantillon selon le statut socio-économique par sexe.....	78
4.1.10	Répartition de l'échantillon selon l'indice de masse corporelle (IMC).....	79
4.1.11	Répartition selon le lieu du recrutement.....	80
4.1.12	Répartition selon le lieu du recrutement par sexe.....	81
4.1.13	Répartition selon le lieu du recrutement par classe d'âge .....	81
4.2	Test de normalité .....	82
4.3	Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global .....	84
4.3.1	Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence selon le sexe .....	85
4.3.2	Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [12-15[ .....	86
4.3.3	Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [15-18] .....	87
4.4	La corrélation entre l'AC et l'AO dans l'échantillon globale .....	89
4.4.1	La corrélation entre l'AC et l'AO dans l'échantillon globale et par sexe .....	89
4.5	L'analyse descriptive de la différence AO-AC par âge.....	90
4.5.1	L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des garçons .....	91

4.5.2	L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des filles.....	92
4.6	L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence d'âge dans l'échantillon global .....	93
4.6.1	L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence AO-AC chez les garçons .....	95
4.6.2	L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence AO-AC chez les filles .....	96
4.7	Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude des écarts .....	97
4.7.1	Analyse de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les garçons de la classe d'âge [12-15[ .....	98
4.7.2	Analyse descriptive des écarts entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les garçons de la classe d'âge [15-18] .....	99
4.7.3	Analyse descriptive des écarts entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [12-15[ .....	100
4.7.4	Analyse descriptive des écarts entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [15-18].....	101
4.8	Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'échantillon global .....	102
4.8.1	Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique de la classe d'âge [12-15[, chez les garçons .....	103
4.8.2	Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique de la classe d'âge [15-18], chez les garçons .....	104
4.8.3	Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les filles de la classe d'âge [12-15[ .....	105
4.8.4	Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les filles de la classe d'âge [15-18].....	106
4.9	Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue .....	107
4.9.1	Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue entre les deux sexes dans les deux classes d'âge	107
4.9.2	Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue entre les deux classes d'âge selon le sexe	108
4.10	Analyse de concordance entre l'AO et L'AC par le diagramme de Bland-Altman	108
4.10.1	Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les garçons s de la classe d'âge [12-15[ .....	110
4.10.2	Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les garçons s de la classe d'âge [15-18].....	111

4.10.3	Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [12-15[	112
4.10.4	Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [15-18]	113
4.11	Régression linéaire	113
4.12	Influence des facteurs socio-démographiques	115
4.12.1	Comparaison des différences AO-AC selon l'origine géographique	115
4.12.2	Comparaison des différences AO-AC selon le Statut socio-économique (SSE)	116
4.12.3	Comparaison des différences AO-AC selon l'IMC	116
4.13	Analyse de reproductibilité intra-observateur et inter-observateur	117

## CHAPITRE 5

<b>Discussion</b>	<b>119</b>	
5.1	Les implications médico-légales	131
5.2	Limites et points forts de l'étude	137

## CHAPITRE 6

<b>CONCLUSION</b>	<b>138</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>140</b>
<b>ANNEXE</b>	<b>150</b>
<b>ABSTRACT</b>	

## Liste des abréviations

---

<b>AC</b>	<b>Age Chronologique</b>
<b>AD</b>	<b>Age Dentaire</b>
<b>ADN</b>	<b>Acide désoxyribonucléique</b>
<b>AGFAD</b>	<b>Study Group on Forensic Diagnostics</b>
<b>AGP</b>	<b>Atlas De Greuliche Et Pyle</b>
<b>AO</b>	<b>Age Osseux</b>
<b>CCA</b>	<b>Code Civil Algérien</b>
<b>CECA</b>	<b>Code D'état Civil Algérien</b>
<b>CFA</b>	<b>Code De La Famille Algérien</b>
<b>CPA</b>	<b>Code De Pénal Algérien</b>
<b>CPPA</b>	<b>Code De Procédure Pénale Algérien</b>
<b>CIDE</b>	<b>convention internationale des droits de l'enfant</b>
<b>CVM</b>	<b>Cervical Vertébral Maturation</b>
<b>C2</b>	<b>2ème Vertèbre Cervicale</b>
<b>C3</b>	<b>3ème Vertèbre Cervicale</b>
<b>C4</b>	<b>4<sup>ème</sup> Vertèbre Cervicale</b>
<b>DEXA</b>	<b>Dual-Energy X-ray Absorptiometry</b>
<b>DNMTs</b>	<b>DNA methyl-transferase.</b>
<b>EPH</b>	<b>Etablissement Public Hospitalier</b>
<b>GH</b>	<b>Growth Hormone</b>
<b>GR</b>	<b>Gilsanz Et Ratib</b>
<b>ICC</b>	<b>Inter Classe Coefficient</b>
<b>IMC</b>	<b>Indice De Masse Corporelle</b>

<b>MCP</b>	<b>Métacarpo-Phalangienne</b>
<b>MML</b>	<b>La méthode de Meindl et Lovejoy</b>
<b>MSB</b>	<b>Méthode De Suchey Et Brooks</b>
<b>SA</b>	<b>Semaines d'Aménorrhée</b>
<b>KS</b>	<b>Kolmogorov Smirnov</b>
<b>L'UNICEF</b>	<b>United Nations International Children's Emergency Fund</b>
<b>TL</b>	<b>télomères</b>
<b>TW</b>	<b>Tanner Whitehouse</b>

## Liste des Tableaux

---

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau 1: tranche d'âge pour les étapes du développement des os du carpe [35].	15
Tableau 2: tranche d'âge approximative pour les étapes du développement des métacarpiens [35]	21
Tableau 3: classification de Tanner [78].	34
Tableau 4 : Répartition de l'échantillon selon le sexe.	72
Tableau 5 : Paramètres de distribution de l'âge de notre échantillon par sexe.	72
Tableau 6: La répartition de l'échantillons par classe d'âge.	73
Tableau 7: la répartition de l'échantillon par classe d'âge et par sexe	74
Tableau 8: La répartition de l'échantillon selon l'origine géographique dans l'échantillon global.	75
Tableau 9: La répartition de l'échantillon selon le niveau socio-économique.	77
Tableau 10: La répartition de l'échantillon selon l'IMC	79
Tableau 11: La répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement.	80
Tableau 12: Les résultats des tests de normalité.	82
Tableau 13: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global.	84
Tableau 14: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global, par sexe	85
Tableau 15: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [12-15[.	86
Tableau 16: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et leur différence dans la classe d'âge [15-18]	87
Tableau 17: Analyse statistique de la corrélation entre l'âge chronologique et l'âge osseux par le test de Spearman.	89
Tableau 18: Les résultats de l'analyse statistique de corrélation entre l'AC et l'AO par le test de Spearman	89
Tableau 19: Analyse de la différence AO-AC par âge.	91
Tableau 20: Les résultats de l'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des garçons.	91
Tableau 21: Différence AO-AC par âges des filles.	92
Tableau 22: Différence AO-AC réparties selon les classes de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique	93

Tableau 23: Répartition de l'échantillon par classe de différence d'âge chez les garçons. ....	95
Tableau 24: Analyse descriptive de la répartition de l'échantillon selon les classes de la différence AO-AC chez les filles.....	96
Tableau 25 : Analyses descriptives des écarts entre l'AO et l'AC dans l'échantillon globale.	97
Tableau 26: Analyse descriptives des écarts entre l'AO et l'AC chez les garçons de la classe d'âge [12-15]. ....	98
Tableau 27: Analyse descriptive des écarts AO-AC chez les garçons de la classe d'âge [15-18]. ....	99
Tableau 28: Les results de l'analyse descriptive des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [12-15]. ....	100
Tableau 29: Les results de l'analyse descriptive des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [15-18]. ....	101
Tableau 30: Test de classement de Wilcoxon pour l'AO et l'AC, dans l'échantillon global. .	102
Tableau 31: Test de classement de Wilcoxon de la classe d'âge [12-15], chez les garçons. ...	103
Tableau 32: Test de classement de Wilcoxon pour la classe d'âge [15-18], chez les garçons. ....	104
Tableau 33: Test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [12-15]. ....	105
Tableau 34: Test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [15-18]. ....	106
Tableau 35: L'erreur absolue entre les garçons et les filles, dans l'échantillon global et selon les classes d'âge.....	107
Tableau 36: L'erreur absolue entre les deux classes d'âges selon le sexe. ....	108
Tableau 37: Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC.....	109
Tableau 38: Tableau de la régression linéaire.....	114
Tableau 39: Analyses statistiques de la comparaison des différences selon l'origine géographique. ....	115
Tableau 40: Résultats du test statistique de Kruskal-Wallis de comparaison des différences AO-AC selon les différents SSE. ....	116
Tableau 41: Analyse statistique de comparaison des différences AO-AC selon groupes de Z-score de l'IMC.....	116
Tableau 42: Analyse de la reproductibilité intra et inter observateur. ....	117
Tableau 43: comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 14 ans. ....	126
Tableau 44: comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 15ans. ....	126
Tableau 45: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 16 ans. ....	127
Tableau 46: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 17 ans. ....	127

Tableau 47: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 18 ans. ....	128
Tableau 48: la fréquence des sous et de la surestimation ayant des répercussions judiciaires. ....	132

## Liste des Figures

---

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
Figure 1 L'ossification endochondrale est le processus de développement de l'os à partir du cartilage hyalin .....	7
Figure 2: développement de l'épiphyse radiale distale. ....	8
Figure 3: développement de l'épiphyse ulnaire droite. ....	9
Figure 4: vue dorsale du squelette de la main . ....	9
Figure 5: vue ventrale du carpe et du métacarpe de la main gauche .....	10
Figure 6: vu latéro-externe du scaphoïde, la paume de la main vers le haut .....	11
Figure 7: vue latérale du lunatum droit, la paume vers le haut . ....	11
Figure 8: triquetrum droit en haut une vue palmaire avec coté latérale en haut, en bas une vue latérale avec la paume de la main vers le bas .....	12
Figure 9: différentes vues du trapèze .....	13
Figure 10: vue latérale externe du trapézoïde à droite et latérale interne à gauche .....	13
Figure 11: vue du capitatum avec, extrémité proximale vers le haut, de gauche à droite : vue latérale externe, puis latérale interne puis palmaire puis dorsale . ....	14
Figure 12: différentes vues de l'hamatum avec la face palmaire en haut, de gauche à droite : vue depuis la base du M4 et M5, puis depuis le capitatum puis depuis triquetrum puis depuis le lunatum .....	14
Figure 13: le développement du processus styloïde du troisième métacarpien., A garçon de 12 ans et B fille de 12 ans .....	16
Figure 14: les différentes étapes du développement osseux de la main, de la naissance à l'adolescence .....	17
Figure 15: l'épiphyse de la phalange moyenne de la main droite .....	18
Figure 16: les épiphyses des phalanges distales droites . ....	19
Figure 17: apparition (A) et fusion (F) des centres d'ossification de la main .....	20
Figure 18: exemple d'une évaluation de l'AO par AGP. ....	37
Figure 19: Classification en 5 stades de l'extrémité médiale de la clavicule, mise au point par Schmeling .....	40
Figure 20: Classification de Schmeling adaptée au scanner .....	40
Figure 21: les différents stades de l'ossification de la crête iliaque décrits par Risser .....	42
Figure 22: Evaluation de l'âge par la méthode de Sauvgrain Nahum .....	42
Figure 23: L'évolution de la fusion épiphysaire du genou . ....	43
Figure 24: la composition d'une dent .....	45

Figure 25 : les 8 stades de développement dentaire d'après Demirjian et al .	46
Figure 26 : tableau de développement dentaire de Nolla	46
Figure 27: Tableau de développement dentaire de Schour et Massler .	47
Figure 28: les différents stades de profondeur de l'extrémité sternale de la 4ème cote selon Iscan	48
Figure 29 : Les différents stades de la méthode de Suchey-Brooks par La symphyse pubienne chez l'homme	49
Figure 30: Les différents stades de la méthode de Suchey-Brooks par La symphyse pubienne chez la femme	49
Figure 31 : les changements de la surface auriculaire avec l'âge, 3ème et 4ème décennie à gauche et 5ème et 6ème décennie	50
Figure 32: mesure de la parodontolyse et de la translucidité .	51
Figure 33: illustration de la cotation des critères de Gustafson	51
Figure 34: âge osseux d'un garçon de 11 ans et 6 mois	61
Figure 35: âge osseux d'un garçon de 12 ans et 6 mois	61
Figure 36: âge osseux d'un garçon de 13 ans	62
Figure 37: âge osseux d'un garçon de 13 ans et 6 mois	62
Figure 38: âge osseux d'un garçon de 14 ans	63
Figure 39: âge osseux d'un garçon de 15 ans	63
Figure 40: âge osseux d'un garçon de 15 ans et 6 mois	64
Figure 41: âge osseux d'un garçon de 16 ans	64
Figure 42: âge osseux d'un garçon de 17 ans	65
Figure 43: âge osseux d'un garçon de 18 ans	65
Figure 44: âge osseux d'un garçon de 19 ans	66
Figure 45: âge osseux d'une fille de 12 ans	66
Figure 46: âge osseux d'une fille de 13 ans	67
Figure 47: âge osseux d'une fille de 13 ans et 6 mois	67
Figure 48: âge osseux d'une fille de 14 ans	68
Figure 49 : âge osseux d'une fille de 15 ans	68
Figure 50: âge osseux d'une fille de 16 ans	69
Figure 51: âge osseux d'une fille de 17 ans	69
Figure 52: âge osseux d'une fille de 18 ans	70
Figure 53: Description des moyennes d'âge par sexe.	73
Figure 54: La répartition de l'échantillon par classe d'âge et selon le sexe.	74
Figure 55: La répartition de l'échantillon selon l'origine géographique.	75

Figure 56: Histogramme de répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par sexe. .....	76
Figure 57: Histogramme de répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par classe d'âge.....	77
Figure 58: La répartition de l'échantillon selon le niveau socio-économique par sexe.....	78
Figure 59: La répartition de l'échantillon selon Z-score l'IMC et par sexe.....	79
Figure 60: La répartition selon le lieu de recrutement.....	80
Figure 61 : La répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement par sexe. ....	81
Figure 62 : Histogramme de la répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement et par classe d'âge.....	82
Figure 63: Graphe de distribution de l'âge osseux. ....	83
Figure 64: Graphe de distribution de l'âge chronologique.....	84
Figure 65: Dispersion de l'âge chronologique par sexe et par classe d'âge.....	88
Figure 66: Dispersion de l'âge osseux par sexe et par classe d'âge.....	88
Figure 67: Diagramme de dispersion entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'échantillon globale.....	90
Figure 68: Histogramme représentant les fréquences de l'effectif selon les classes des écarts AO-AC dans l'échantillon global. ....	97
Figure 69: Histogramme présentant les fréquences de l'effectif selon les classes des écarts AO- AC chez les garçons de la classe d'âge [12-15[. ....	99
Figure 70: Histogramme des fréquences de l'effectif distribuées selon les classes des écarts AO-AC chez les garçons de la classe d'âge [15-18]. ....	100
Figure 71: Histogramme des fréquences de l'effectif distribués selon les classes des écarts AO- AC chez les filles de la classe d'âge [12-15[.....	101
Figure 72: Histogramme des fréquences de l'effectif distribués selon les classes des écarts AO- AC chez les filles de la classe d'âge [15-18].....	102
Figure 73: Histogramme du test de classement de WILCOXON chez les garçons de la classe d'âge [12-15[.....	103
Figure 74: Histogramme du test de classement de Wilcoxon pour les garçons de la classe d'âge [15-18].....	104
Figure 75: Histogramme du test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [12-15[.....	105
Figure 76: Histogramme du test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [15-18].....	106
Figure 77: Diagramme de Bland Altman représentant les biais dans l'échantillon globale...	109
Figure 78: Diagramme de Bland Altman chez les garçons de la classe d'âge [12-15[ .....	110
Figure 79: Diagramme de Bland-Altman pour les garçons âgés de 15 à 18 ans.....	111

Figure 80: Graphe de Bland Altman montrant la différence entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [12-15[ .....	112
Figure 81: Graphe de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [15-18].....	113
Figure 82 : Dispersion avec courbe d'ajustement de l'AO .....	114
Figure 83: Diagramme de dispersion de Bland Altman de la reproductibilité intra-observateur. ....	117
Figure 84: Diagramme de dispersion de Bland Altman de reproductibilité inter-observateur. ....	118
Figure 85: Dix sites d'observation (régions) où la fermeture de la suture est lue . ....	132
Figure 86 : La mesure de la densité minérale osseuse de l'extrémité proximale du fémur ...	133
Figure 87 : Mesure de la densité minérale osseuse .....	134
Figure 88 : Évolution de la masse osseuse .....	134
Figure 89 : Différences liées à l'âge dans la microstructure de l'os cortical.....	135

**CHAPITRE 1**  
**INTRODUCTION**

# 1 introduction

---

## 1.1 Problématique

L'estimation de l'âge représente une étape cruciale dans l'établissement du profil biologique d'un individu. Elle intervient dans l'identification des individus décédés qui peut s'inscrire dans un cadre historique (anthropologie) ou lors d'un processus d'identification [1], ainsi que chez les sujets vivants dont l'âge chronologique est inconnu [2].

L'âge squelettique déterminé par la maturation des différents os du corps, autrement dit âge osseux, représente le meilleur indicateur de l'âge chronologique [3].

La détermination de l'âge osseux est une méthode d'évaluation du développement et de la maturation de l'enfant ou de l'adolescent [4]. Pour un individu donné, elle correspond à l'état de maturation squelettique en référence à celle de la majorité des individus de même sexe et de même âge. Elle trouve son intérêt dans deux principaux domaines : en médecine légale et en radiopédiatrie

**En médecine légale**, il s'agit d'estimer l'âge chronologique, notamment la majorité au sens pénal ou la majorité au sens civil. Cette indication trouve son intérêt en raison de l'existence de juridictions spécialisées et de règles de procédures spécifiques concernant les mineurs. Dans ce dernier cas, tout médecin peut être requis afin d'estimer l'âge chronologique par une mesure de l'âge osseux [5].

En Algérie cette estimation est liée, dans la majorité des cas, au contexte social de certaines régions du pays où des enfants sans papiers qui sont issus d'un mariage non acté, nécessitent d'être inscrit auprès de l'état civil, un autre contexte lié au mode de vie des nomades, dans plusieurs régions de l'Algérie notamment du Sahara et les régions bédouines, les familles vivent en déplacement permanent ou saisonnier loin des villes et des centres administratifs

Elle s'inscrit aussi dans un cadre de procédure pénale où les personnes suspectées avoir commis des actes répréhensibles prétendent être mineures, elle est aussi liée au flux migratoire transfrontalier de personnes sans papiers, notamment pour ceux qui sont impliquées dans des affaires judiciaires.

Cet âge civil allégué étant remis en cause, le médecin est sollicité pour évaluer l'âge réel de l'individu car les régimes de détention, de garde à vue, ainsi que les juridictions compétentes sont différentes, selon que l'individu est majeur ou mineur, et selon son âge s'il est mineur [6].

Cette mission relève de la pratique médico-légale, elle ne peut s'inscrire que dans un cadre judiciaire. Elle est confiée au médecin sur réquisition dans un contexte civil, sur ordonnance du juge ou d'une chambre civile, ou pénal sur réquisition policière ou judiciaire. Cependant elle ne peut pas être sollicitée par des personnes privées.

Dans ces situations, le médecin tente d'estimer l'âge biologique de la personne pour s'approcher au plus près de son âge réel. Il peut utiliser plusieurs méthodes, qui associées entre elles vont affiner cette estimation difficile, dépendante de l'origine ethnique de l'individu, de son niveau socio-économique et de l'existence ou non de pathologies susceptibles d'interférer sur la croissance [7].

**En pédiatrie**, l'estimation de l'âge osseux est indiquée dans le cadre du bilan de troubles de croissance staturo-pondéraux, mentaux, ou de développement pubertaire. Dans ce cas, l'âge chronologique est connu et il s'agit de le comparer avec l'âge osseux.

Elle est utile dans la prise en charge des enfants atteints de diverses endocrinopathies (en particulier celles impliquant l'hypophyse, la thyroïde et les gonades) et des enfants présentant des syndromes de malformation, fréquemment demandée dans le cadre de l'évaluation des enfants qui sont soit trop grands, soit trop petits pour leur âge chronologique et peut être utilisée pour prédire la taille à la maturité. Cette évaluation peut également être utile pour planifier des interventions orthopédiques dont le résultat peut être influencé par la croissance ultérieure de l'enfant [8].

Plusieurs méthodes d'évaluation de l'âge osseux sont utilisées, celle de **Greulich et Pyle, publiée en 1959**, est la méthode d'estimation de l'âge osseux la plus utilisée dans le monde [9]. Il s'agit d'une analyse radiologique qualitative se basant sur l'ossification des os de la main et du poignet en fonction de l'âge et du sexe. Cette méthode permet de déterminer l'âge osseux d'un individu en comparant la radiographie de la main et du poignet de celui-ci à un atlas composé de séries de radiographies de référence par tranche de six mois ou d'un an, chaque radiographie représentant le développement standard pour l'âge et le sexe donné [10].

Cet atlas, qui a d'abord été développé pour des applications médicales, a progressivement été utilisé dans un contexte judiciaire pour estimer l'âge des mineurs délinquants [11].

Sur le plan législatif, l'estimation de l'âge osseux est par ailleurs un outil fondamental pour évaluer la responsabilité pénale des mineurs. Dans de nombreux systèmes judiciaires, l'âge de la personne au moment d'un délit peut influencer la nature des poursuites et les sanctions

appliquées. Ainsi, une évaluation précise est non seulement une question de santé, mais aussi de justice.

Cependant, ce domaine soulève aussi des enjeux éthiques majeurs. Les évaluations peuvent impacter directement la vie des individus concernés, en influençant des décisions relatives à l'identification, aux droits d'asile, et à d'autres dimensions critiques. Il devient alors impératif d'agir avec intégrité, transparence et respect des droits des individus tout en garantissant que les méthodes employées soient rigoureusement fondées et validées [12].

## **1.2 Intérêt de l'étude**

L'atlas de Greulich et Pyle est basé sur une population caucasienne américaine du début du XXe siècle, dont les conditions socio-économiques, environnementales et nutritionnelles diffèrent de celles observées dans d'autres pays, dont l'Algérie.

Dès lors, une question centrale se pose : cet atlas est-il réellement adapté et fiable pour évaluer l'âge osseux des adolescents algériens âgés de 12 à 18 ans ?

Après une revue de la littérature approfondie, aucun travail n'a été fait dans ce sens en Algérie, ce qui nous a motivé à étudier l'estimation de l'âge chronologique par l'atlas de Greulich et Pyle (AGP).

Notre travail porte sur l'applicabilité de l'AGP à un échantillon de la population algérienne âgée de 12 à 18 ans, car c'est à cet âge que la détermination de la juridiction compétente dépend directement de l'âge de la personne, qu'elle soit inculpée ou victime.

La population algérienne, de composition anthropogénique hétérogène, n'a fait l'objet d'aucune étude antérieure. De ce fait l'utilisation directe de cet Atlas issue d'une population étrangère, pour l'estimation de l'âge chez le vivant, notamment dans un contexte pénal reste insuffisante, avant sa validation sur notre population.

## **1.3 Objectifs de l'étude**

### **1.3.1 Objectif principal**

- Evaluer l'applicabilité de l'Atlas de Greulich et Pyle sur la population algérienne âgée de 12 à 18 ans.

### **1.3.2 Objectifs secondaires**

- Evaluer l'impact des facteurs socio-économiques, géographiques et de l'indice de masse corporelle sur le développement osseux.

- Rechercher des écarts éventuels entre les deux sexes et les tranches d'âges.

Cette thèse vise donc à examiner de manière approfondie l'estimation de l'âge osseux en médecine légale, en mettant en lumière les méthodes disponibles, les applications pratiques, ainsi que les défis éthiques auxquels les professionnels sont confrontés. En adoptant une approche holistique, nous chercherons à établir des recommandations pour une pratique plus responsable et efficace dans ce domaine.

**CHAPITRE 2**

**REVUE DE LA LITTERATURE**

## 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

---

### 2.1 Définition de l'âge

**L'âge réel, ou âge chronologique**, est la durée écoulée entre la naissance d'une personne et une date donnée. C'est la détermination de cet âge qui est recherchée dans les expertises médico-légales requises par les autorités judiciaires. Cet âge chronologique devrait correspondre à l'âge civile suite à la déclaration obligatoire des naissances, faute de quoi une expertise médicale est demandée par les autorités compétentes pour le déterminer [13].

**L'âge physiologique ou âge fonctionnel ou âge biologique** reflète l'état physiologique ou fonctionnel exact de l'individu [14]. C'est un bon indicateur de maturation physiologique pour les jeunes adultes. Il est toutefois très variable d'une personne à l'autre car il repose sur des indicateurs biologiques de croissance pour les sujets immatures (les enfants et les adolescents), ou de vieillissement pour les adultes.

#### **L'âge pubère :**

La puberté est la période de transition entre l'enfance et l'âge adulte. Durant cette période, il existe des modifications importantes tant sur le plan physique que psychique. L'apparition des caractères sexuels secondaires est responsable d'une véritable modification du schéma corporel de l'adolescent. En parallèle, l'existence des modifications sur les plans psychique, mental et affectif retentissent sur le comportement [15]. La puberté normale débute entre 8 et 13 ans chez la fille et 9 à 14 ans chez le garçon [16]. Le démarrage pubertaire est secondaire à une cascade de phénomènes. C'est suite à l'activation de l'axe hypothalamo-hypophysaire, au niveau cérébral, que les hormones hypophysaires sont produites et vont stimuler les organes sexuels féminins, les ovaires avec production d'œstrogènes, et masculins, les testicules avec production de testostérone. Elle représente un processus par lequel l'individu acquiert la capacité de reproduction [17].

**L'âge dentaire :** repose sur la chronologie d'apparition des dents déciduales et définitives. Il est basé sur l'étude de l'éruption et de la minéralisation de la couronne, du développement de la racine et de son apexification [18].

#### **L'âge osseux :**

La maturité du squelette est une mesure du développement qui intègre la taille, la forme et le degré de minéralisation de l'os pour définir sa proximité avec la maturité complète. L'évaluation

de la maturité du squelette implique un examen rigoureux de multiples facteurs et une connaissance fondamentale des divers processus par lesquels l'os se développe [19].

L'évaluation de l'âge physiologique d'un adolescent nécessite une approche globale qui tienne compte de plusieurs marqueurs biologiques, tests physiques et facteurs de développement. À l'adolescence, le corps subit encore des transformations importantes en termes de croissance, de maturation musculaire, osseuse et hormonale. Il est donc crucial d'adapter les méthodes à ce stade particulier du développement [20, 21].

## **2.2 L'anatomie et le développement osseux de la main et du poignet**

### **2.2.1 Introduction**

La détermination de l'âge osseux correspond à l'étude de la maturation du squelette. La maturation osseuse se poursuit en trois stades [22] :

**la maturation prénatale** où s'ossifient surtout les maquettes cartilagineuses diaphysaires. Ainsi à la naissance, les points épiphysaires visibles sont les points fémoraux inférieurs (environ 36 semaines d'aménorrhée (SA)), les points tibiaux supérieurs (38 SA), les points huméraux supérieurs de façon inconstante (41-42 SA). Les os ronds visibles à la naissance sont au niveau du tarse, le calcaneus (24 SA), l'astragale (28 SA) et le cuboïde. Aucun os carpien n'est visible chez un nouveau-né ;

**la maturation postnatale** de l'enfance durant laquelle s'ossifient les petits os du tarse et du carpe, les épiphyses des os longs et la voûte du crâne ;

**la maturation de l'adolescence**, époque où s'ossifient les cartilages de croissance.

La croissance longitudinale des os longs des extrémités s'effectue par le processus d'endochondralisation par le processus d'ossification endochondrale. En revanche, la largeur des os augmente par le développement du tissu squelettique directement à partir de la membrane fibreuse. Ce dernier mécanisme est à l'origine de l'ossification du calvarium, des os plats du bassin, des omoplates et du corps de la mandibule [23].

La calcification initiale commence près du centre de la tige des os longs dans une région appelée centre d'ossification primaire. Bien que de nombreux os plats, y compris les os du carpe, s'ossifient entièrement à partir de ce centre primaire, tous les os longs développent des centres secondaires qui apparaissent dans le cartilage des extrémités de l'os. La maturation dans ces centres se déroule de manière identique à celle des centres primaires ; avec ossification du

cartilage et invasion des ostéoclastes et des ostéoblastes. L'os ossifié à partir du centre primaire est la diaphyse, tandis que l'os ossifié à partir du centre secondaire est l'épiphyse [24].

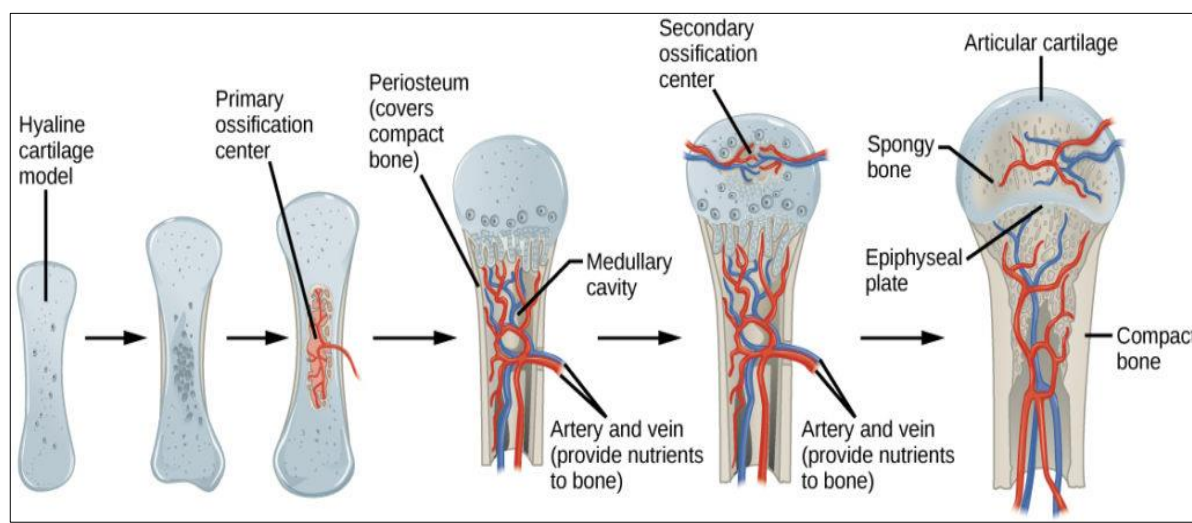


Figure 1 L'ossification endochondrale est le processus de développement de l'os à partir du cartilage hyalin [25]

Au fur et à mesure de l'ossification du centre secondaire, le cartilage est remplacé par de l'os jusqu'à ce que seule une fine couche de cartilage, la plaque épiphysaire, sépare l'os diaphysaire de l'épiphyse. La partie de la diaphyse qui s'appuie sur l'épiphyse est appelée métaphyse et représente l'extrémité de croissance de l'os. Tant que la plaque cartilagineuse épiphysaire persiste, la diaphyse et l'épiphyse continuent de croître, mais les ostéoblastes finissent par cesser de se multiplier et la plaque épiphysaire s'ossifie. À ce moment-là, les structures osseuses de la diaphyse et de l'épiphyse sont fusionnées et la croissance s'arrête [26].

## 2.2.2 L'anatomie de la main et du poignet

Le poignet humain adulte normal contient 29 os distincts : cinq métacarpiens, huit carpiens, 14 phalanges et les extrémités distales du radius et du cubitus. Ces os sont affectés à trois régions anatomiques : le poignet, la paume et les doigts [27]. Les os sésamoïdes sont également présents à la tête des métacarpiens I et V [28].

### 2.2.2.1 Le radius et l'ulna

Le radius et l'ulna forment la partie distale du membre supérieur. L'extrémité distale du radius s'articule avec le lunatum du côté médial et le scaphoïde du côté latéral. et avec l'ulna, à l'articulation inférieure.

#### 2.2.2.1.1 Le développement et l'ossification du radius

Le centre d'ossification primaire (diaphyse) du radius se développe par ossification endochondrale vers la 7<sup>e</sup> semaine du développement fœtal. La diaphyse est présente à la naissance (sauf retard de développement), le centre d'ossification secondaire de l'épiphyse

distale se développe entre 1 et 2 ans. Le centre secondaire de l'épiphyse proximale du radius apparaît vers l'âge de 5 ans, et l'apophyse styloïde de l'épiphyse distale se forme vers l'âge de 8 ans. L'épiphyse proximale du radius fusionne entre 12 et 16 ans chez les filles, et entre 14 et 18 ans chez les garçons. L'épiphyse distale du radius (Figure 2) fusionne entre 14 et 19 ans chez les filles et entre 16 et 20 ans chez les garçons [29].

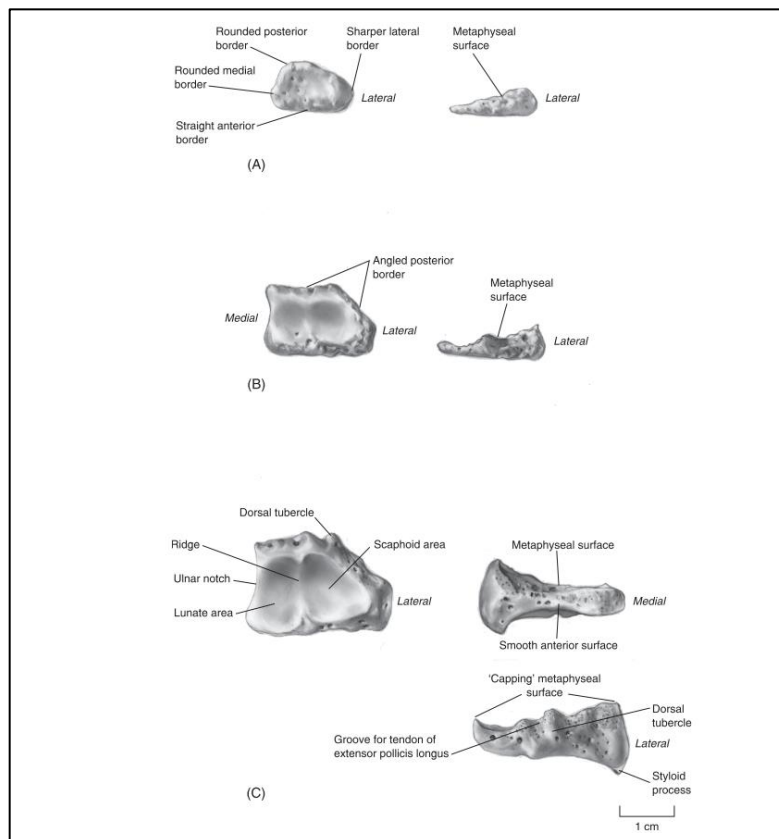


Figure 2: développement de l'épiphyse radiale distale. [30]

(A) stade précoce – 7 ans ; (B) stade avancé – 10 ans ; (C) épiphyse mature – adolescent. Colonne de gauche : surface articulaire. Colonne de droite : (A) et (B) surfaces postérieures ; (C) surfaces antérieure et postérieure.

### 2.2.2.1.2 Le développement et l'ossification de l'ulna

Le centre d'ossification primaire (diaphyse) de l'ulna commence également à se développer pendant la période prénatale à la 7ème semaine [30]. À la naissance, la diaphyse ulnaire est normalement présente, le centre d'ossification secondaire (épiphyse distale) apparaissant entre 5 et 7 ans [31]. L'apophyse styloïde se forme vers l'âge de 8 à 10 ans (Figure 3), lorsque les centres secondaires de l'épiphyse proximale se développent [32]. Chez les filles, l'épiphyse proximale fusionne entre 12 et 15 ans, tandis que chez les garçons elle fusionne entre 14 et 18 ans [31]. L'épiphyse distale de l'ulna fusionne généralement entre 15 et 19 ans pour les deux sexes [10].

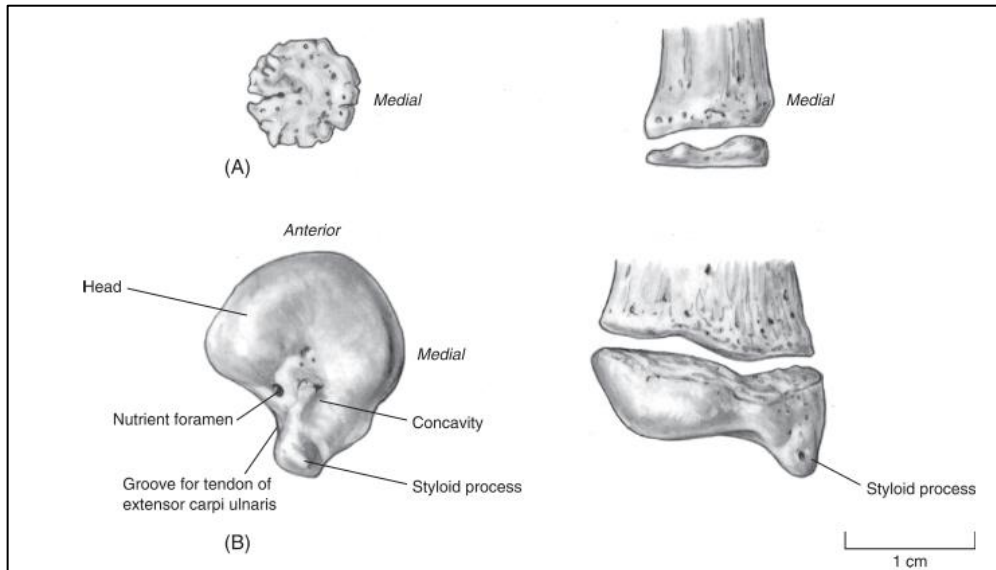


Figure 3: développement de l'épiphyse ulnaire droite. [30]

(A) stade précoce – 7 ans ; (B) stade avancé – adolescence. Colonne de gauche : surface articulaire. Colonne de droite : surface antérieure.

### 2.2.2.2 Les os de la main

La main adulte s'articule au niveau du poignet (radiocarpien) avec le radius et comprend au moins 27 os - 8 carpiens, 5 métacarpiens et 14 phalanges (Figure 4).

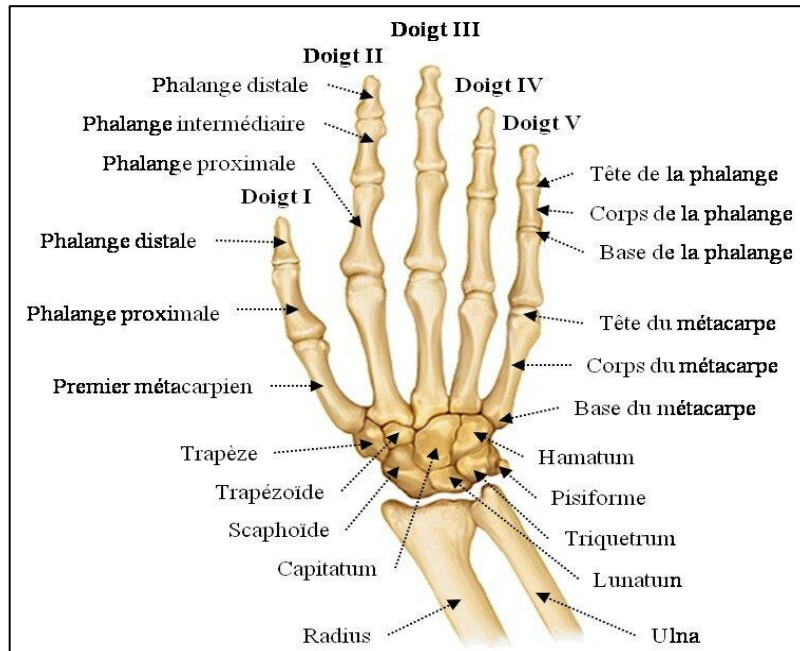


Figure 4: vue dorsale du squelette de la main [33].

### 2.2.2.2.1 Les os du carpe

Les os du carpe sont disposés en deux rangées transversales de quatre os chacune et forment une large base pour le soutien ferme de la main (Figure 5). Le premier nom donné aux os du carpe a été donné par Lyser en 1653, mais les renommages ultérieurs ont introduit une certaine confusion et, par conséquent, la littérature n'est pas toujours cohérente. De latéral à médial, la rangée proximale des os du carpe comprend le scaphoïde (os scaphoideum ou naviculaire), le lunatum (os lunatum ou semi-lunaire), le triquetrum (os triquetral ou cunéiforme) et le pisiforme (os pisiforme), tandis que la rangée distale comprend le trapèze (os trapezium ou multangulum major), le trapézoïde (os trapezoideum ou multangulum minor), le capitatum (os capitatum ou os magnum) et l'hamatum (os hamatum ou unciform).[32]

Deux os de la rangée proximale (le scaphoïde et le lunatum) s'articulent avec le radius pour former l'articulation radiocarpienne (poignet), sans articulation directe avec l'ulna. La rangée distale s'articule avec les métacarpiens qui forment la substance de la paume de la main. Les rangées proximale et distale s'articulent entre elles au niveau des articulations médio-carpiennes transversales.[30]

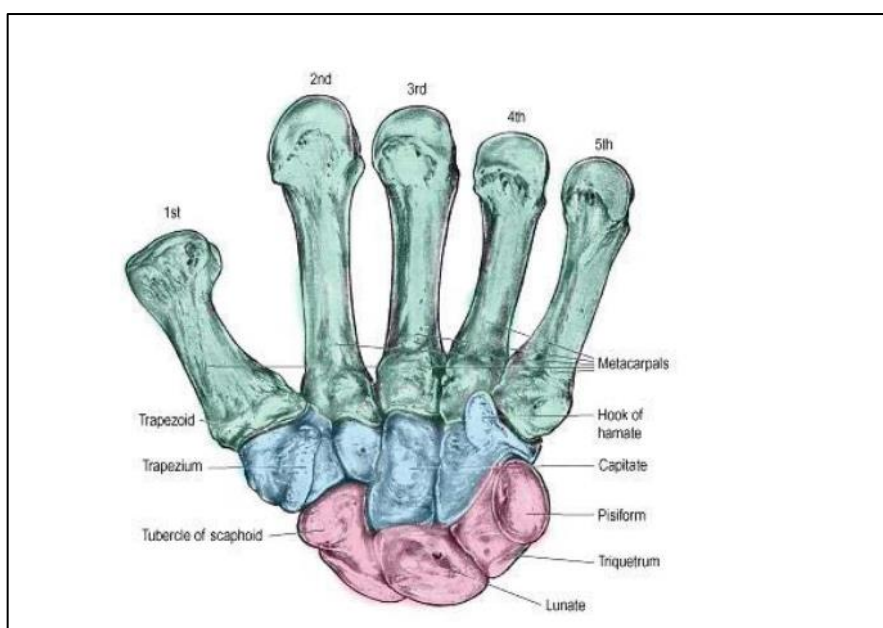


Figure 5: vue ventrale du carpe et du métacarpe de la main gauche [34].

#### a- Le scaphoïde

L'os scaphoïde a la forme d'un bateau (Figure 6), avec une surface concave principale pour la tête du capitatum et une surface convexe principale qui s'articule avec le radius distal. C'est l'un des plus grands os du carpe, le plus latéral et le plus proximal, interposé entre le radius et le

trapèze, à la base du pouce. le tubercle est une saillie émoussée, non articulaire, adjacente à la facette creuse du capitatum [28]

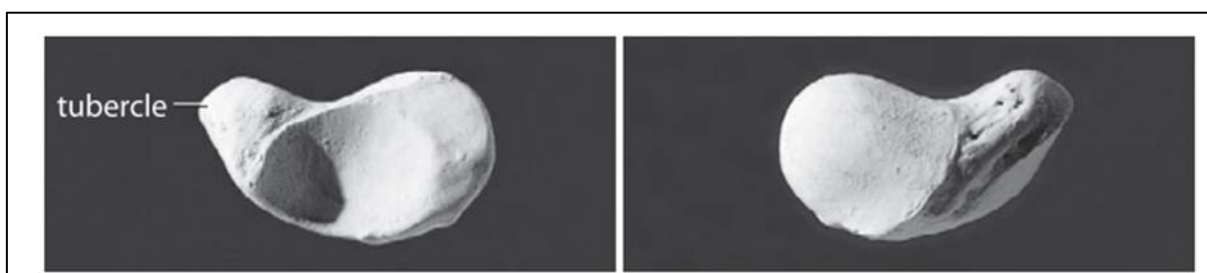


Figure 6: vu latéro-externe du scaphoïde, la paume de la main vers le haut [28].

#### **b- Le lunatum**

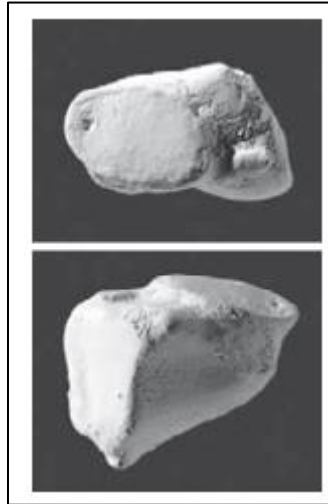
Le lunatum tire son nom de son contour en forme de croissant (Figure 7). Il se situe au milieu de la rangée proximale et est placé quelque peu en oblique. Il s'articule avec cinq os : le radius en proximal, le scaphoïde en latéral, le triquetrum en médial, le capitatum et l'hamatum en distal. Il présente une face palmaire non articulaire triangulaire relativement large et une face dorsale non articulaire beaucoup plus réduite, en raison du prolongement dorsal de la facette articulaire radiale. La face latérale est étroite et porte une facette semi-lunaire plate pour l'articulation avec le scaphoïde. Immédiatement à proximité de cette facette se trouve une rainure rugueuse pour l'attachement du ligament interosseux qui relie les deux os entre eux. La surface proximale est convexe pour l'articulation avec le radius latéralement et avec le disque articulaire de l'articulation radio-ulnaire inférieure médialement. Rarement, une crête est présente sur la surface proximale du lunatum, délimitant les deux sites d'articulation. La surface médiale présente une facette quadrilatérale grossièrement carrée pour l'articulation avec le triquetrum, séparée de la facette distale profondément concave pour l'articulation avec le capitatum, par une crête semi-lunaire incurvée, qui représente le site d'articulation avec l'hamatum.[32]



Figure 7: vue latérale du lunatum droit, la paume vers le haut [28].

### c- Le triquétrum

Est le troisième os de la rangée proximale du carpe à partir du pouce. Il présente trois surfaces articulaires principales (Figure 8), d'où son nom [28], une base qui s'articule avec le lunatum, une surface latérale qui s'articule avec l'hamatum, une surface médiale qui est essentiellement non articulaire, et une surface palmaire qui porte une seule facette ovale pour l'articulation avec le pisiforme [30].



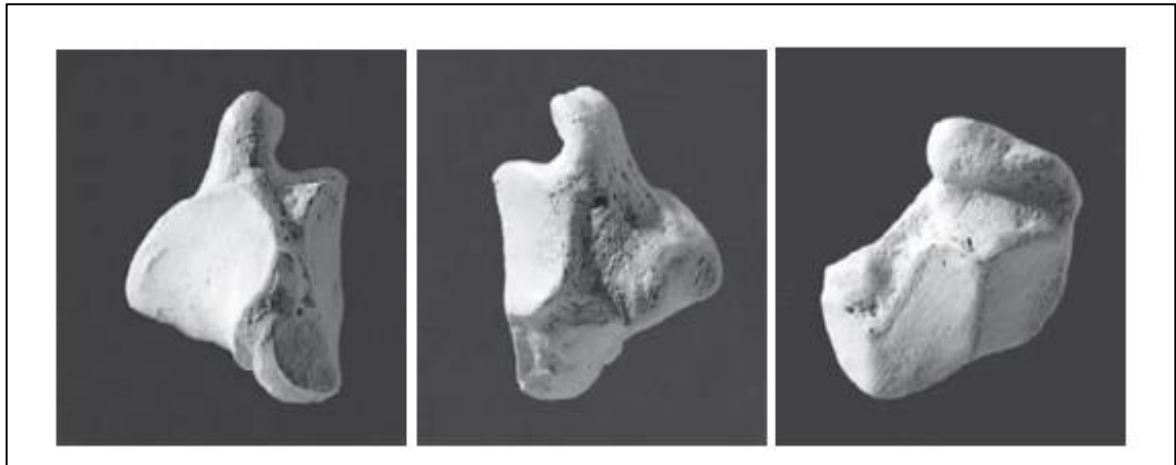
*Figure 8: triquetrum droit en haut une vue palmaire avec côté latérale en haut, en bas une vue latérale avec la paume de la main vers le bas [28].*

### d- Le pisiforme

L'os pisiforme a la forme d'un pois, dont l'un des côtés est aplati par la facette articulaire avec le triquetrum. Le pisiforme est le plus petit des carpiens parce qu'il se développe dans un tendon. Il s'agit en fait d'un os sésamoïde [28]. Il porte sur sa face dorsale une facette articulaire pour l'os triquetrum et son grand axe s'étend distalement et latéralement en direction du crochet de l'hamatum [30].

### e- Le trapèze

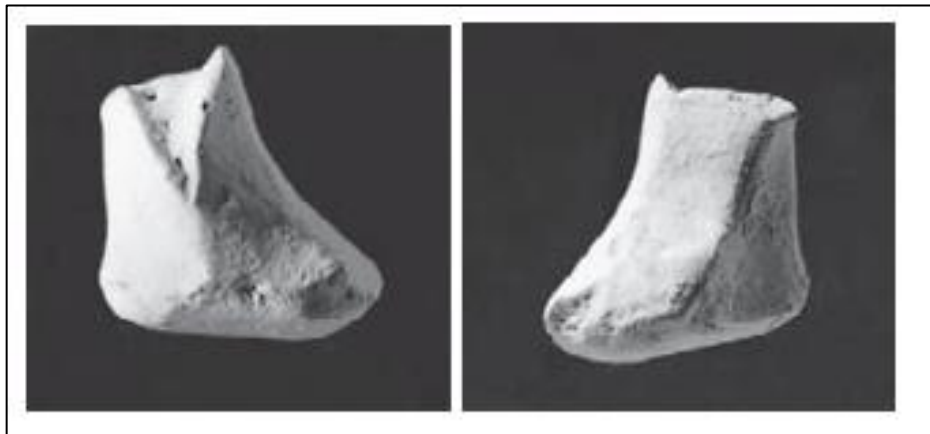
Le trapèze est le plus latéral de la rangée distale des os du carpe et s'articule avec quatre os (Figure 9) : le premier et deuxième métacarpien en distal, le scaphoïde en proximal et le trapézoïde en médial [28].



*Figure 9: différentes vues du trapèze [28]*

**a- Le trapézoïde**

Le trapèze est en forme de botte (Figure 10). C'est le plus petit carpe de la rangée distale (Figure 10); il s'articule distalement avec la base du deuxième métacarpien [28]. Il s'articule aussi avec le trapèze, le scaphoïde, le capitatum.



*Figure 10: vue latérale externe du trapézoïde à droite et latérale interne à gauche [28].*

**b- Le capitatum**

Le capitatum est le plus grand des os du carpe et son nom provient probablement de la région articulaire proximale qui ressemble à une tête (Figure 11). Il s'articule avec le plus grand nombre d'autres os, sept au total - le deuxième, le troisième et le quatrième métacarpien en distal ; le scaphoïde et le lunatum en proximal ; le trapézoïde en latéral et l'hamatum en médial [26].

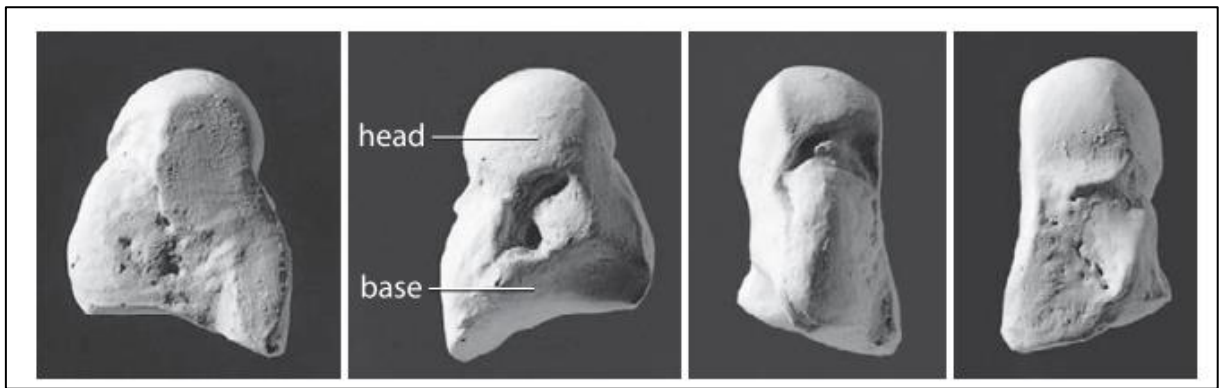


Figure 11: vue du capitatum avec, extrémité proximale vers le haut, de gauche à droite : vue latérale externe, puis latérale interne puis palmaire puis dorsale [28].

### c- L'hamatum

L'hamatum est le grand carpien de forme triangulaire qui s'articule avec le capitatum, le triquetrum et le lunatum, ainsi qu'avec la base du 4ème et 5ème métacarpien (Figure 12).

L'hamatum présente une saillie en forme de crochet (hamulus) sur la face palmaire, qui sert de point d'attache à une bande fibreuse dans laquelle passent les tendons fléchisseurs du poignet [35].

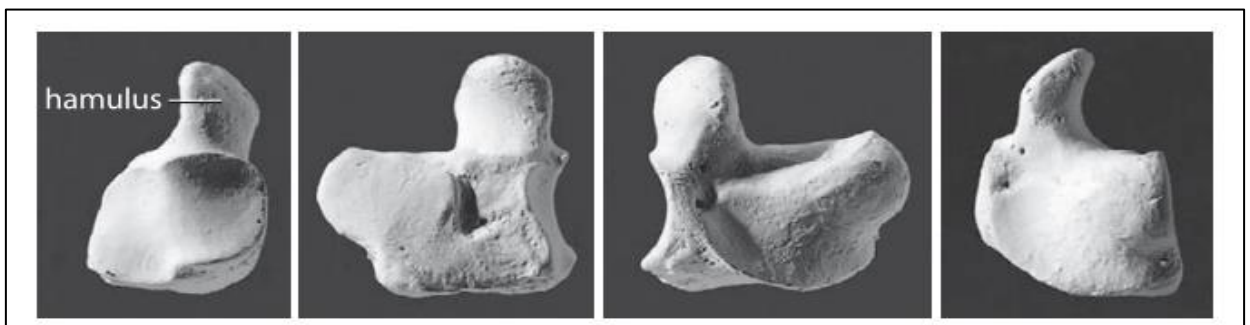


Figure 12: différentes vues de l'hamatum avec la face palmaire en haut, de gauche à droite : vue depuis la base du M4 et M5, puis depuis le capitatum puis depuis triquetrum puis depuis le lunatum [28].

#### 2.2.2.2.2 Développement et ossification des os du carpe

Contrairement aux autres os du poignet, les os du carpe ne développent pas d'épiphyses [36]. L'ordre normal d'apparition des os du carpe est le suivant : le capitatum apparaît en premier, suivi de près par l'hamatum, puis par le triquetrum et le lunatum. Le trapèze, le trapézoïde et le scaphoïde apparaissent tous à peu près en même temps et leur ordre peut donc être interchangeable. Il est intéressant de noter que le schéma d'apparition des centres suit un parcours presque circulaire. Il commence par l'ossification du capitatum, se déplace latéralement vers l'hamatum et le triquetrum, avant de se déplacer proximale vers le

lunatum et enfin de compléter le circuit avec l'apparition quasi simultanée du scaphoïde, du trapèze et du trapézoïde. Le pisiforme apparaît radiologiquement vers 8 ans chez les filles et vers 10 ans chez les garçons [30].

Tableau 1: tranche d'âge pour les étapes du développement des os du carpe [35].

<b>Carpes</b>	<b>L'apparition de Centre d'ossification</b>	<b>Forme adulte</b>
<b>Capitatum</b>	2-4 mois	13-15 ans
<b>Hamatum</b>	3-5 mois	12-15 ans
<b>Triquétrum</b>	1-3 ans	12-15 ans
<b>Lunatum</b>	3-4 ans	12-15 ans
<b>Scaphoïde</b>	5-6 ans	12,5-15 ans
<b>Trapèze</b>	4-5 ans	12-15 ans
<b>Trapézoïde</b>	4-5 ans	12-15 ans
<b>Pisiforme</b>	8-10 ans	12,5-15 ans

### 2.2.2.2.3 Les métacarpiens (MC)

Les métacarpiens sont numérotés du premier métacarpien (le pouce) au cinquième métacarpien selon les cinq rayons de la main. Ce sont tous des os tubulaires, considérés comme des os long, avec des surfaces articulaires distales rondes (tête) et des extrémités proximales rectangulaires (bases)[28].

La formule commune de longueur des métacarpiens est la suivante le deuxième est le plus long, suivi dans un ordre décroissant par le troisième, le quatrième et le cinquième, le premier métacarpien étant le plus court. La morphologie en coupe de la tige du pouce diffère nettement de celle des métacarpiens 2 à 5. La première est plus robuste et triangulaire, alors que celles des autres métacarpiens vont d'une forme plus ovoïde dans le deuxième métacarpien à ovale dans le cinquième. La surface palmaire des tiges des métacarpiens 2 à 5 est concave longitudinalement, ce qui correspond à la concavité naturelle de la paume, alors que la surface dorsale est soit droite, soit légèrement convexe [30].

### a- Le premier métacarpien

Le premier métacarpien est le plus court et sa tige est la plus robuste que celle des autres métacarpiens [28], il s'articule avec le trapèze en proximal et avec la base de la première phalange proximale en distal. il ne possède pas d'articulation intermétacarpienne [30].

### b- Le deuxième métacarpien

Le deuxième métacarpien est le plus long des métacarpiens et il s'articule à sa base avec, de latéral à médial, le trapèze, trapézoïde et capitatum, tandis que sa face médiale s'articule avec la face latérale de la base du troisième métacarpien au niveau de l'articulation intermétacarpienne. Sa diaphyse est légèrement convexe dorsalement et concave ventralement dans son grand axe [30].

### c- Le troisième métacarpien

C'est le seul métacarpien qui présente une saillie pointue, la styloïde, à sa base (Figure 13) [28]. La base du troisième métacarpien présente un seul site d'articulation avec le capitatum, convexe dans sa partie palmaire et concave dans sa partie dorsale. La face latérale s'articule avec le deuxième métacarpien par une articulation en forme de bande, qui est rétrécie sur la ligne médiane pour l'attachement du ligament interosseux. La face médiale s'articule avec la face latérale de la base du quatrième métacarpien.

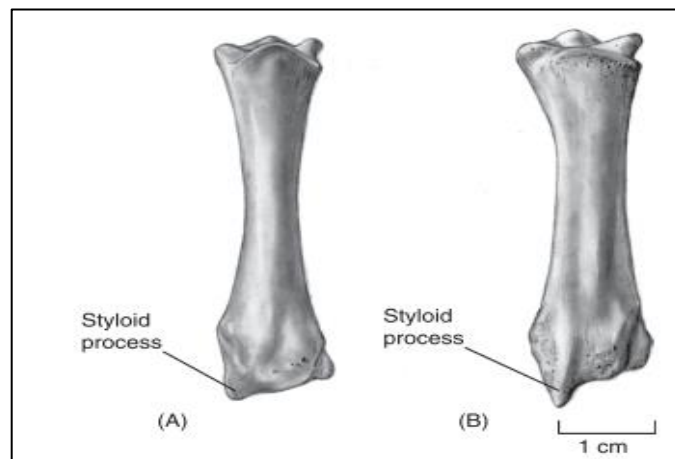


Figure 13: le développement du processus styloïde du troisième métacarpien., A garçon de 12 ans et B fille de 12 ans [30]

### a- Le quatrième métacarpien

Le quatrième métacarpien est généralement le plus mince des métacarpiens [30]. Il a une base assez carrée avec trois ou quatre facettes articulaires. Il s'articule (à sa base) avec le capitatum, l'hamatum, le troisième et le cinquième métacarpien [28].

### b- Le cinquième métacarpien

A la base de l'auriculaire, se trouve le cinquième métacarpien qui est le plus mince et le plus courts des métacarpiens. Il a deux facettes articulaires, une pour l'hamatum et l'autre pour le 4ème métacarpien.

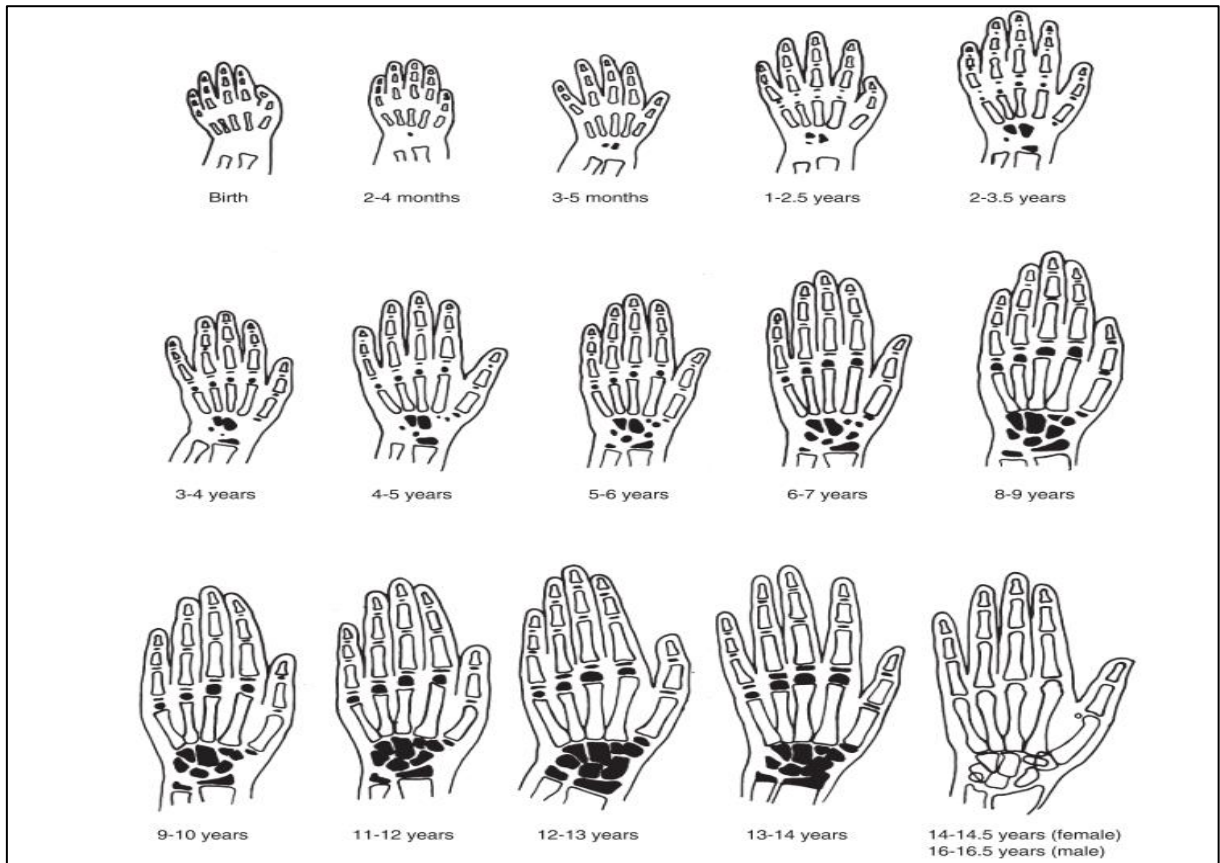


Figure 14: les différentes étapes du développement osseux de la main, de la naissance à l'adolescence [30]

#### 2.2.2.2.4 Les phalanges

Chaque phalange a une base, un corps et une tête, une surface dorsale convexe et une surface palmaire concave.

##### a- Phalanges proximales

La phalange proximale du pouce est généralement la plus courte, suivie d'une taille croissante par les cinquième, deuxième et quatrième, la troisième étant généralement la plus longue. Bien que la deuxième et la quatrième phalanges proximales puissent être de longueur similaire, il est généralement constaté que la seconde est la plus longue [30].

les phalanges sont toutes plus courtes que les métacarpiens, elles n'ont pas de têtes arrondies et sont aplaties dans leurs axes [28].

La base de la phalange proximale s'articule avec la tête d'un métacarpien à l'articulation MCP. Ceci est généralement décrit comme une articulation ellipsoïdale mais est en réalité presque bicondyloïde, en particulier sur l'aspect palmaire. La base présente une facette unique ovale concave caractéristique, qui est plus longue dans son aspect transverse que dans son aspect palmo-dorsal.

La diaphyse d'une phalange proximale se rétrécit généralement vers son extrémité distale. La surface dorsale est généralement décrite comme étant quelque peu convexe [30].

#### b- Phalanges intermédiaires

Chaque phalange de la main intermédiaire présente une double facette articulaire proximale pour la tête de la phalange proximale (Error! Reference source not found.5), et chacun possède également une facette articulaire distale. le pouce ne porte que deux phalanges, sans une phalange morphologiquement intermédiaire[28].

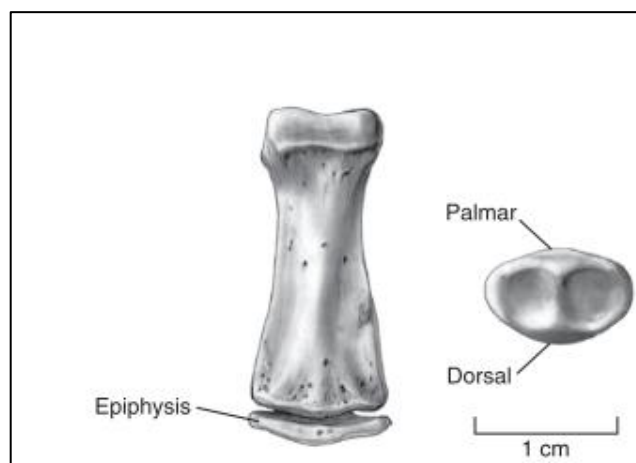


Figure 15: l'épiphyse de la phalange moyenne de la main droite [30].

#### a- Phalanges distales

Les phalanges distales sont distinctives en raison de leur extrémité distale libre non articulaire et sont souvent dites avoir une forme quelque peu triangulaire, étant le plus large proximale puis se rétrécissant vers le pôle distal. La phalange distale s'articule proximale

à l'articulation interphalangienne distale avec la tête de la phalange intermédiaire et sa base porte deux facettes articulaires concaves. [30]

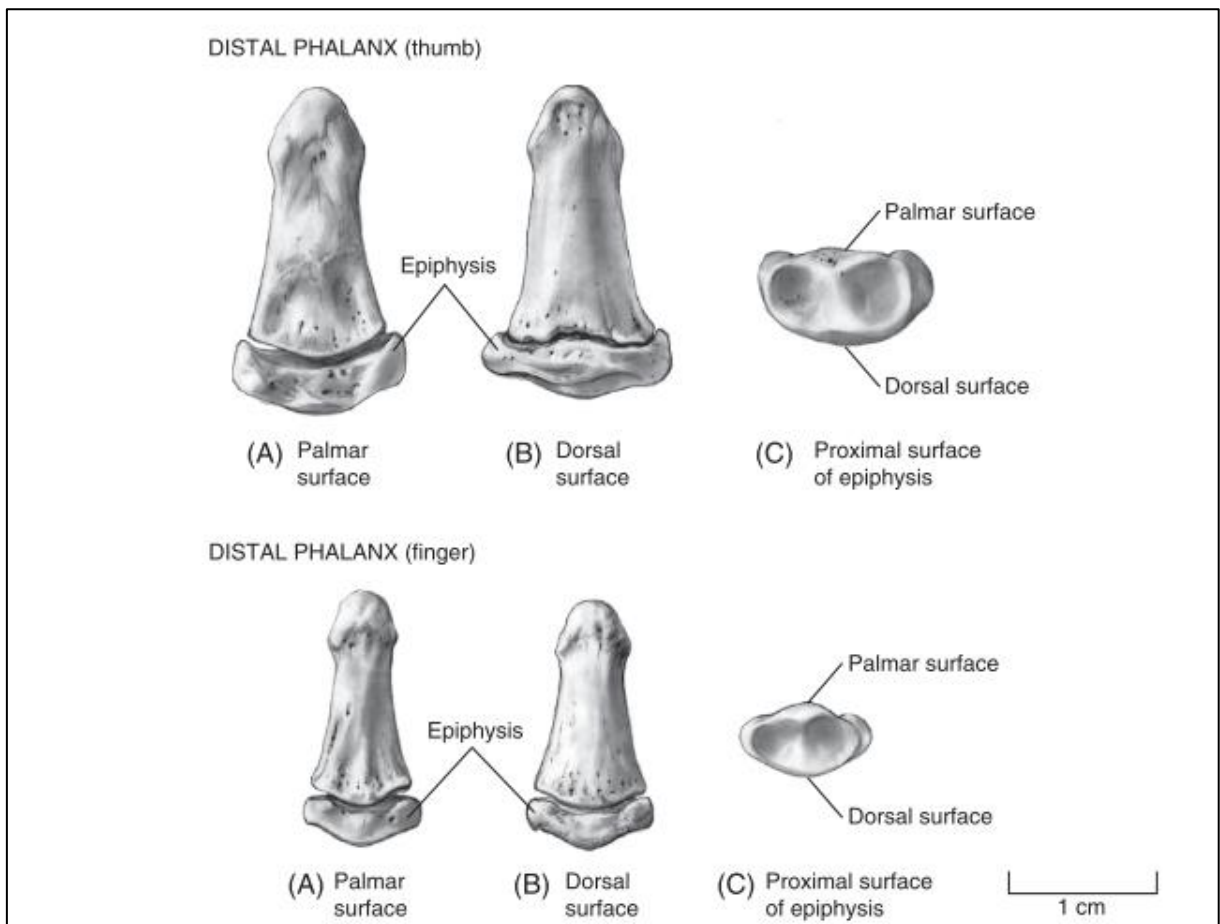


Figure 16: les épiphyses des phalanges distales droites [30].

### 2.2.2.3 Le développement et l'ossification des os long de la main

#### a- Les centres primaires d'ossification

Les centres primaires d'ossification des métacarpiens et des phalanges sont tous présents, (à l'exception peut-être de la phalange moyenne du 5<sup>ème</sup> doigt), au début du 4<sup>ème</sup> mois prénatal et ils sont reconnaissables, sur une radiographie, individuellement au 5<sup>ème</sup> mois. À partir de ce stade et jusqu'à la naissance, les seuls autres os qui peuvent commencer à s'ossifier sont le capitatum et l'hamatum, bien qu'ils se développent généralement au cours des 3 ou 4 premiers mois du post-partum [37].

#### b- L'ossification secondaire

Les os longs de la main comportent quatre groupes d'épiphyses morphologiquement distincts : les têtes des métacarpiens et les bases des phalanges proximales, moyennes et distales (Figure 177). Contrairement à la situation observée dans les autres os longs du squelette, où les épiphyses apparaissent à la fois aux pôles proximal et distal, dans la main, elles ont tendance à

se limiter à une extrémité de l'os, bien que dans de rares circonstances, de véritables épiphyses surnuméraires aient été documentées.

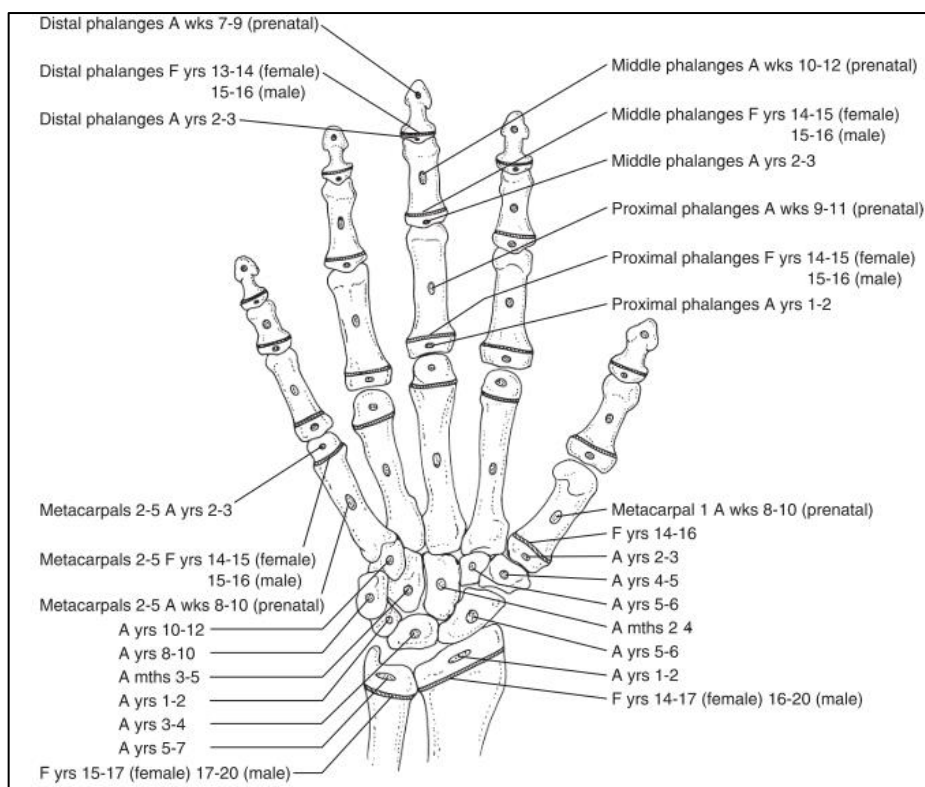


Figure 17: apparition (A) et fusion (F) des centres d'ossification de la main [30].

En règle générale, à l'exception du premier métacarpien, les têtes de tous les autres métacarpiens s'ossifient à partir d'un centre d'ossification secondaire distinct. Le premier métacarpien se comporte comme une phalange proximale, car toutes les phalanges s'ossifient à partir d'un centre unique qui forme la diaphyse et la surface articulaire distale, tandis que la base de l'os à son extrémité proximale se forme à partir d'un centre d'ossification secondaire distinct [30].

En règle générale, les centres secondaires des bases des phalanges proximales sont les premiers à apparaître, suivis de près par ceux des têtes métacarpiennes, puis des bases des phalanges moyennes et enfin des bases des phalanges distales.

Les centres primaires des métacarpiens s'ossifient pendant la période prénatale, entre 8 et 10 semaines environ. L'ossification commence dans les centres du 2ème et le 3ème métacarpien, suivi des centres du 4ème et 5ème métacarpien, le centre d'ossification du 1er métacarpien étant le dernier à s'ossifier entre 9 et 11 semaines [36]. Les têtes du 2ème au 5ème métacarpien se développent à partir de centres d'ossification secondaires entre 16 et 29 mois, tandis que la base du 1er commence à s'ossifier entre 25 et 37 mois [38].

Les têtes métacarpiennes apparaissent comme des centres ossifiés circulaires indifférenciés jusqu'à l'âge de 5 ou 6 ans environ, âge auquel elles commencent à développer des surfaces articulaires distales [39]. La fusion complète des métacarpiens se produit entre 14 et 16 ans [10].

Tableau 2: tranche d'âge approximative pour les étapes du développement des métacarpiens [35]

<b>Métarpes</b>	<b>Centre d'ossification primaire</b>	<b>Centre d'ossification secondaire</b>
<b>1er MC</b>	9-11 semaine prénatale	14-16 ans
<b>2ème MC</b>	8-10 semaine prénatale	14-16 ans
<b>3ème MC</b>	8-10 semaine prénatale	14-16 ans
<b>4ème MC</b>	8-10 semaine prénatale	14-16 ans
<b>5ème MC</b>	8-10 semaine prénatale	14-16 ans

Les phalanges de la main s'ossifient à partir d'un centre primaire (intramembranaire) pour la diaphyse et d'un centre secondaire (endochondrale) pour les bases [36].

L'ossification de la base de la phalange proximale du 2ème doigt apparaît à environ 14 mois chez les filles et 19 mois chez les garçons, tandis que celle de la phalange proximale du 4ème doigt apparaît à peu près au même moment, mais légèrement plus tard.

La base de la phalange distale du premier doigt apparaît vers 17 mois chez les filles et 22 mois chez les garçons.

La base de la cinquième phalange proximale apparaît à 17 mois chez les filles et 2 ans et 1 mois chez les garçons.

La base de la phalange moyenne du troisième doigt apparaît vers 19 mois chez les filles et 2 ans et 4 mois chez les garçons.

L'ossification de la base de la phalange moyenne du 4ème doigt, et de la base de la phalange moyenne du 2ème doigt apparaît à peu près au même moment, à savoir 19 mois chez les filles et 2 ans et 5 mois chez les garçons.

La base de la phalange proximale du 2ème et du 5ème doigt, la base de la phalange moyenne du 2ème et 4ème doigt et la base de la phalange distale du 1er doigt sont formées à 2 ans chez les filles et 2,5 ans chez les garçons.

La base des phalanges distales du 3<sup>ème</sup> et du 4<sup>ème</sup> doigt apparaît ensuite vers l'âge de 2 ans chez les filles et de 2 ans et 8 mois chez les garçons.

La base de la phalange proximale du 1er doigt s'ossifie à environ 2 ans et 1 mois chez les filles et 3 ans et 2 mois chez les garçons.

La phalange distale du 2<sup>ème</sup> doigt apparaît vers 2 ans et 4 mois chez les filles et 3 ans et 7 mois chez les garçons (Figure 17), tandis que les centres des bases des phalanges distales et moyennes du 5<sup>ème</sup> doigt sont les derniers à apparaître, vers 2 ans et 5 mois chez les filles et 3 ans et 7 mois chez les garçons. Par conséquent, à 2,5 ans chez les filles et à environ 3,5 ans chez les garçons, les centres d'ossification secondaire des os longs de la main sont tous présents et seuls les centres du lunatum, du scaphoïde, du trapèze, du trapézoïde, et du pisiforme ne le sont pas encore [40].

#### **2.2.2.3.1 Les sésamoïdes**

Les sésamoïdes se développent à l'intérieur des tendons de la main. Ils protègent ces tendons de la pénétration dans l'espace articulaire métacarpo-phalangien, ce qui permet d'augmenter le mouvement du doigt associé [41]. Les sésamoïdes de la main sont généralement situés à la base des 1er et 5e doigts et se présentent sous la forme de petits nodules osseux arrondis. Les sésamoïdes sont les derniers os de la main à commencer à s'ossifier [36] entre l'âge de 11 à 15 ans chez les femmes et de 13 à 18 ans chez les hommes [38].

### **2.3 Facteurs influençant la maturation squelettique**

La maturation du squelette est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs hormonaux, nutritionnels, socio-économiques et génétiques [42].

#### **2.3.1 La génétique**

La génétique joue un rôle majeur dans la vitesse de maturation squelettique. Elle détermine en grande partie le moment de la croissance pubertaire et la vitesse de maturation osseuse [43].

Récemment, les premiers locus présentant une variation commune associée de manière reproductible à la variation de la population en termes de moment de la puberté ont été identifiés en 6q21 dans ou à proximité de LIN28B et en 9q31.2. Cependant, ces deux locus n'expliquent qu'une petite partie de la contribution génétique à la variation de la population en termes de moment de la puberté [44].

### **2.3.2 Le statut socio-économique**

Le statut socio-économique (SSE) serait un facteur déterminant dans le développement squelettique [45]. Les personnes de statut socio-économique inférieur sont généralement plus sujettes à une mauvaise nutrition, à des pathologies et à des traumatismes en raison du manque d'accès à des soins médicaux adéquats, ce qui retarde la maturation osseuse, à l'inverse dans des environnements socio-économiques faibles avec des taux de mortalité élevés, le développement du squelette peut être avancé, en raison d'une puberté précoce due à la pression évolutive pour se reproduire [46, 47]. D'autres articles ont mis en évidence un lien entre la maturation squelettique et le SSE avec une augmentation de la maturation en cas de SSE élevé [48].

### **2.3.3 Le niveau d'accès aux soins médicaux**

Un niveau élevé de développement médical et économique accélère le taux d'ossification, tandis qu'un faible niveau de modernisation retarde l'ossification. Si le diagnostic radiologique de l'âge utilise l'AGP pour des personnes originaires d'un pays dont le niveau de modernisation est relativement faible, l'âge de cette personne sera sous-estimé. Lors de l'estimation de l'âge, l'expert doit donc attirer l'attention sur la question des différents niveaux de modernisation [49].

### **2.3.4 La nutrition**

La croissance des enfants est une caractéristique de leur développement normal et l'association entre la nutrition et la croissance linéaire chez les enfants est bien acceptée.

La croissance nécessite un apport adéquat de nombreux facteurs nutritionnels différents, certains forment les « matériaux de construction », tandis que d'autres jouent un rôle réglementaire [50]. Plusieurs publications ont montré que l'indice de masse corporelle influence positivement la maturation du squelette [51].

### **2.3.5 L'ethnicité**

Le statut SSE et l'ethnicité doivent être dûment pris en considération chaque fois qu'il vient à l'estimation de l'âge médico-légal des individus vivants [9].

### **2.3.6 les hormones**

La régulation de la croissance osseuse linéaire chez les enfants et les adolescents comprend une interaction complexe d'hormones et de facteurs de croissance. L'hormone de croissance (GH) est considérée comme le régulateur hormonal clé de la croissance linéaire dans l'enfance. L'augmentation pubertaire de la vitesse de croissance associée à la GH a traditionnellement été attribuée à la sécrétion d'androgènes testiculaire chez les garçons, et à la sécrétion d'œstrogènes ou d'androgènes surrénaliens chez les filles [52].

## **2.4 La législation de l'âge**

### **2.4.1 la législation internationale**

L'Algérie avait ratifié en 1992 la Convention Internationale relative aux Droits de l'Enfant (CIDE), adoptée en 1989 par l'Assemblée Générale des Nations Unies. Ceci démontre la détermination du pays à considérer l'enfant au plus haut des priorités nationales, le reconnaissant ainsi comme un individu à part entière disposant de droits propres et spécifiques.

Article 1 de CIDE stipule que l'enfant est défini comme tout être humain de moins de dix-huit ans, sauf si la loi nationale accorde la majorité plus tôt [53].

#### ***2.4.1.1 L'enfant non accompagné ou mineur non accompagné :***

**Par « enfant non accompagné »** (également appelé mineur non accompagné), un enfant, au sens de l'article premier de la CIDE, qui a été séparé de ses deux parents et d'autres membres proches de sa famille et n'est pas pris en charge par un adulte investi de cette responsabilité par la loi ou la coutume, se trouvant en dehors du pays dont il a la nationalité [54].

#### ***2.4.1.2 enfant séparé***

On entend par un enfant séparé, au sens de l'article premier de la Convention, qui a été séparé de ses deux parents ou des personnes qui en avaient la charge à titre principal auparavant en vertu de la loi ou de la coutume. Un enfant séparé peut être accompagné par un autre membre adulte de sa famille.

#### ***2.4.1.3 Principes applicables***

- Les obligations qui incombent à un État partie en vertu de la CIDE s'appliquent à tout enfant se trouvant sur son territoire et à tout enfant relevant de sa juridiction (art. 2).
- Le principe de non-discrimination, sous tous ses aspects, s'applique à tous les stades du traitement des enfants séparés ou non accompagnés
- Intérêt supérieur de l'enfant en tant que considération primordiale dans la recherche de solutions à court et à long terme (art. 3 de la CIDE)
- Droit à la vie, à la survie et au développement (art. 6 de la CIDE)
- Droit de l'enfant d'exprimer librement son opinion (art. 12 la CIDE)
- Respect du principe de non-refoulement : Pour réserver un traitement approprié aux enfants non accompagnés ou séparés, les États doivent pleinement respecter leurs obligations en matière de non-refoulement, découlant du droit international des droits de l'homme, du droit international humanitaire et du droit international des réfugiés

- Confidentialité : Les États parties sont tenus de protéger la confidentialité des informations reçues relatives à un enfant non accompagné ou séparé, ce en vertu de l'obligation qui est la leur de protéger les droits de l'enfant, y compris le droit à la vie privée (art. 16 de la CIDE)

Chaque année, des milliers d'enfants entrent en contact avec le système judiciaire. Les raisons peuvent être diverses : ils peuvent être impliqués dans des procédures de justice pénale dû à des conflits avec la loi, ou parce qu'ils ont été témoins ou sont devenus des victimes de délits ou une combinaison des deux. Les enfants devraient être traités de façon appropriée selon leur âge.

**L'UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund)** ne fournit pas de conduite à tenir sur les méthodes de détermination de l'âge et laissent aux Etats Membres le soin d'appliquer les leurs en respectant les principes clés de « non-discrimination », de « l'intérêt supérieur de l'enfant », de « la préservation de l'identité » et de « la protection contre toute forme de violence ». Le Haut-Commissariat des Nations unies aux Droits de l'Homme souligne que la procédure de détermination de l'âge ne doit pas être initiée sans raison et que l'enfant doit être informé de l'âge attribué et du motif de cette procédure [55].

## **2.4.2 La législation Algérienne**

### ***2.4.2.1 La responsabilité pénale du mineur***

Il est rare d'aborder la responsabilité pénale des mineurs, car en général, la situation du mineur est plutôt celle de la victime, ce qui justifie la mise en œuvre de systèmes de prévention et de protection des mineurs délinquants ou en danger, dans la plupart des pays. Sur le plan international, le mineur fait l'objet d'une meilleure attention et bénéficie d'un renforcement de la protection, notamment dans le cadre de la CIDE de 1989 sur les droits de l'enfant (art. 37 et 40 qui consacrent plusieurs principes, dont celui du seuil d'âge d'irresponsabilité) ainsi que celui des droits de la défense reconnus au mineur lorsqu'il est accusé, poursuivi ou traduit en justice.

A l'instar de la plupart des législations des pays européens, le droit algérien ne retient la responsabilité pénale des mineurs qu'à titre exceptionnel, faisant de l'irresponsabilité du mineur le principe de base, et cela par référence à l'absence présumée de raison et de discernement chez le mineur. La notion de raison diffère de celle de discernement (la première est limitée à l'âge de 10/13 ans, tandis que la seconde concerne le mineur de 13/16 ans)

Le droit algérien distingue trois situations en fonction de l'âge du mineur dont la responsabilité dépend directement de ces seuils :

### **Le mineur de 13 ans**

Pour un enfant de 10 ans à moins de 13 ans, la loi prévoit qu'il ne puisse être soumis qu'à des mesures de protection ou de rééducation et non à des peines « classiques ». En cas de contravention, l'éventuelle sanction est une admonestation.

L'article 49 du code pénal Algérien (CPA) [56] dispose que "Le mineur de moins de dix (10) ans ne peut faire l'objet de poursuites pénales. Le mineur de dix (10) ans et de moins de treize (13) ans ne peut faire l'objet que de mesures de protection ou de rééducation."

Loi n° 15-12 du 28 Ramadhan 1436 correspondant au 15 juillet 2015 relative à la protection de l'enfant consacre plusieurs articles à l'instruction judiciaire des mineurs moins de 13 ans :

Art. 56. - L'enfant âgé de moins de dix (10) ans ne peut faire l'objet de poursuites pénales. Le représentant légal est civilement responsable du dommage causé par l'enfant à un tiers [57].

Art. 57. - L'enfant dont l'âge est de dix (10) ans et à moins de treize (13) ans le jour de la commission de l'infraction ne peut faire l'objet que de mesures de protection et de rééducation [57].

Art. 58. Il est interdit de placer l'enfant dont l'âge est de dix (10) ans et à moins de treize (13) ans dans un établissement pénitentiaire même à titre provisoire [57].

Art. 48. Prévoit que L'enfant dont l'âge est inférieur à treize (13) ans présumés avoir commis ou tenté de commettre une infraction ne peut faire l'objet d'une garde à vue [57].

### **Le mineur de 13 à 16 ans**

Le mineur de treize à seize ans encourt une responsabilité pénale atténuée. C'est à partir de cet âge que l'enfant acquies la notion de discernement, comme stipule l'article 42 du CCA « La personne dépourvue de discernement à cause de son jeune âge n'a pas la capacité d'exercer ses droits civils. Est réputé dépourvu de discernement l'enfant qui n'a pas atteint l'âge de 13 ans »[58].

L'article 444 du code de procédure pénal Algérien (CPPA) prévoit que le mineur de plus de treize ans peut également faire l'objet d'une mesure de placement dans une institution publique d'éducation surveillée ou d'éducation corrective.

Art 45 de la constitution Algérienne prévoit que les mineurs sont soumis obligatoirement à un examen médical, en cas de garde à vue [59].

Art. 49 de loi Algérienne relative à la protection des enfants dispose que si pour les nécessités de l'enquête préliminaire l'officier de police judiciaire, est amené à placer en garde à vue

l'enfant dont l'âge est de treize (13) ans, au moins, présumé avoir commis ou tenté de commettre une infraction, il doit en informer immédiatement le procureur de la République et lui soumettre un rapport sur les motifs de la garde à vue [57].

Art. 73. - En matière de délit, lorsque le maximum de la peine prévue par la loi est inférieur ou égal à trois (3) ans d'emprisonnement, l'enfant de plus de treize (13) ans ne peut être placé en détention provisoire. Lorsque le maximum de la peine prévue par la loi est supérieur à trois (3) ans d'emprisonnement, l'enfant de treize (13) ans à moins de seize (16) ans, ne peut être placé en détention provisoire que dans les délits qui constituent un trouble grave et manifeste à l'ordre public ou lorsque cette détention est nécessaire pour sa protection, pour une période de deux (2) mois non renouvelable [60].

#### **Le mineur de seize à dix-huit ans**

La majorité pénale étant fixée à dix-huit ans par référence à l'âge du mineur au moment des faits.

En matière de crimes et délits :

L'article 249 du CPPA [61] prévoit la compétence du tribunal criminel pour juger les individus majeurs, naturellement. Mais le tribunal criminel est également compétent pour juger les individus mineurs qui ont atteint l'âge de seize (16) ans et ayant commis des crimes subversifs ou terroristes renvoyés par arrêt définitif de la chambre d'accusation.

L'article 228 du CPA dispose que seuls les mineurs de 16 ans sont entendus sans prestation de serment [56].

Article 73 de la loi relative à la protection des enfants stipule que lorsque le maximum de la peine prévue par la loi est supérieur à trois (3) ans d'emprisonnement, L'enfant de seize (16) ans à moins de dix-huit (18) ans, ne peut être placé en détention provisoire que pour une durée de deux (2) mois renouvelable une seule (1) fois [60].

#### ***2.4.2.2 L'inscription à l'état civil***

En Algérie tout enfant qui naît sur le territoire algérien est obligatoirement déclaré dans les cinq jours de l'accouchement à l'officier d'état civil du lieu de naissance sous peine de sanctions prévues à l'article 442 alinéa 3 du CPA.

Malheureusement, les naissances ne sont pas enregistrées régulièrement dans certaine région bédouine du pays, dans ces cas la CIDE stipule que (l'enfant doit être enregistré immédiatement après la naissance, ce qui implique une période définie de jours plutôt que de mois.

Toutefois, si pour une raison quelconque les enfants ne sont pas enregistrés ou si leurs dossiers ont été perdus, alors, comme le dispose le Comité des droits de l'enfant au près des nations unies, l'omission doit être réparée par l'État.

L'Article 61 du code de l'état civil stipule que le délai de déclaration de naissance est porté à 10 jours pour les régions de Saoura et des Oasis. Il peut même être prolongé lorsque la naissance a lieu dans un pays étranger. Si la naissance n'a pas été déclarée dans ce délai légal, l'Officier d'état civil ne peut la porter sur les registres d'état civil qu'en vertu d'une ordonnance rendue par le président du tribunal de l'arrondissement dans lequel est né l'enfant [62].

Si l'enfant n'a pas été déclaré à l'état civil, il est possible de remédier à cette carence en s'adressant à la mairie du lieu de naissance pour y retirer une déclaration de non-inscription à l'état civil, à accompagner d'un certificat médical où figurerait l'âge apparent de l'enfant, d'une photo de l'enfant puis déposer le dossier auprès du procureur chargé de l'état civil pour qu'une ordonnance soit prise par le président du tribunal.

Article 7 de la CIDE stipule que :

L'enfant est enregistré aussitôt sa naissance, il a dès celle-ci le droit à un nom, le droit d'acquérir une nationalité et, dans la mesure du possible, le droit de connaître ses parents et d'être élevé par eux.

#### ***2.4.2.3 Le droit à la protection par un tuteur légal***

Au plan civil, l'incapacité du mineur est une incapacité de protection ; elle a été instituée dans son intérêt exclusif, pour éviter qu'il soit tenu par des engagements pris sans discernement.

La majorité civile en Algérie est atteinte à l'âge de 19 ans.

Article 40 du code civil Algérien (CCA) « toute personne est pleinement capable pour l'exercice de ses droits civils, lorsqu'elle atteint l'âge de 19 ans. » [58].

L'enfant est donc mineur et juridiquement incapable jusqu'à l'âge de 19 ans.

Article 42 du CCA « La personne dépourvue de discernement à cause de son jeune âge n'a pas la capacité d'exercer ses droits civils. Est réputé dépourvu de discernement l'enfant qui n'a pas atteint l'âge de 13 ans » [58].

Article 81 code de la famille [63] et article 44 du CCA prévoient que « Toute personne incapable du fait de son jeune âge est légalement représenté par un tuteur légal. »

#### ***2.4.2.4 Obligation de scolarité***

L'Article 53 de la Constitution Algérienne et l'article 6 de l'ordonnance de 1976 prévoient que La scolarité est obligatoire pour tous les enfants âgés de 6 ans à 16 ans révolus.

#### ***2.4.2.5 L'âge au travail***

L'âge minimum pour un recrutement ne pas en aucun cas être inférieur à 16 ans, sauf dans le cas de contrats d'apprentissage. Le travailleur mineur ne peut être recruté que sur présentation d'une autorisation établie par son tuteur légal. Les travailleurs de moins de 19 ans de l'un ou l'autre sexe ne peuvent occuper un travail de nuit. Hormis les cas d'un contrat d'apprentissage établi conformément à la législation en vigueur, tout recrutement d'un jeune travailleur n'ayant pas atteint l'âge prévu par la loi, est puni d'une amende de 10.000 DA à 20.000 DA ».

#### ***2.4.2.6 L'âge au mariage***

Art. 7 Code de la famille Algérien (CFA) [63]: La capacité de mariage est réputée valide à 19 ans révolus pour l'homme et la femme. Toutefois, le juge peut accorder une dispense d'âge pour une raison d'intérêt ou en cas de nécessité, lorsque l'aptitude au mariage des deux parties est établie. Le conjoint mineur acquiert la capacité d'ester en justice quant aux droits et obligations résultant du contrat du mariage ».

art. 11 du CFA [63]: Le mariage du mineur est subordonné à l'accord du juge de la famille et à la condition que la demande soit justifiée. Le consentement du représentant légal du mineur, le père ou un parent proche, est également nécessaire.

### **2.5 Les principes éthiques et déontologiques**

Le médecin expert, interpellé pour estimer l'âge chronologique d'une personne mineure, doit observer les bonnes règles éthiques et déontologiques qui concrétisent le principe de protection des mineurs, en leur garantissant l'application de ces normes, selon les recommandations de l'UNICEF dans le cadre de la CIDE de l'Enfant [55].

#### **Norme 1 : Les déterminations de l'âge doivent être menées sans discrimination**

Il serait injuste de discriminer un enfant à cause de ses parents ou protecteurs, ou sur le fondement de l'âge, de la race, de la religion, de la couleur de peau, de la langue, du sexe, de la nationalité, de l'origine ethnique ou sociale, d'un handicap, des opinions, notamment politiques, ou d'autres motifs [53].

#### **Norme 2. Il est indispensable de solliciter le consentement éclairé de l'enfant avant d'entamer la procédure**

L'article 12 de la CIDE stipule que l'enfant doit donc toujours donner son consentement éclairé avant que la procédure de détermination de l'âge ne soit lancée. Pour que l'enfant soit réellement informé, il est indispensable de lui fournir des renseignements exacts sur le processus d'évaluation, les risques potentiels pour sa santé et les mesures prises pour les minimiser, ainsi que les conséquences des différents résultats possibles de l'évaluation. En gardant à l'esprit le droit de l'enfant au respect de sa vie privée, il faut également demander son consentement afin de rechercher des documents probants le concernant [53].

**Norme 3. La procédure de détermination de l'âge ne doit être menée que lorsqu'elle est considérée comme étant dans l'intérêt supérieur de l'enfant**

Pour déterminer quel est l'intérêt supérieur de l'enfant, certains facteurs doivent être pris en compte. Il faut notamment déterminer si la procédure est réellement nécessaire : permettra-t-elle par exemple d'identifier un enfant afin qu'il puisse bénéficier des services spécifiques visant à le protéger ou assurer son développement ? L'enfant est-il vulnérable et l'évaluation de son âge permettra-t-elle de le protéger, par exemple des trafiquants, de la conscription ou des formes dangereuses de travail, etc. ? La conduite de cette procédure risque-t-elle de causer ou d'aggraver un traumatisme et les risques liés à cette procédure ont-ils été correctement estimés ? Enfin, quel est le véritable souhait de l'enfant et est-il d'accord avec cette procédure ? [55].

**Norme 4. La détermination de l'âge ne doit être effectuée qu'en cas de doute sérieux sur l'âge de l'enfant et comme mesure de dernier ressort**

L'âge déclaré par l'enfant doit être pris comme point de départ et considéré comme fiable à moins d'être erroné de façon flagrante. S'il n'existe pas de doute sérieux, la procédure de détermination de l'âge n'est pas nécessaire. Les facteurs à prendre en compte pour établir l'existence d'un doute sérieux sont notamment les suivants [55]:

La conformation physique et mentale d'une personne n'indique pas clairement que celle-ci est âgée de plus ou moins de 18 ans ; Il n'existe aucun document attestant l'âge ou la date de naissance de la personne ou les documents fournis ne sont pas fiables.

**Norme 5. L'évaluation doit avoir recours aux méthodes les moins intrusives possible, qui respectent la dignité et l'intégrité physique de l'enfant en toute circonstance [55].**

**Norme 6. Lorsqu'il existe une marge d'erreur, celle-ci doit être appliquée en faveur de l'enfant [55].**

**Norme 7. Les procédures de détermination de l'âge doivent adopter une approche holistique :** La détermination de l'âge doit prendre en compte une variété de facteurs physiques, psychologiques, culturels, environnementaux et de développement [55].

Le médecin légiste, au-delà de sa mission expertale au sens technique du mot, serait le garant du respect de la dignité humaine face aux défis juridiques. Il combine entre les données scientifiques, les normes éthiques et déontologiques pour participer de près à l'instauration d'une justice qui n'est jamais établie au détriment de la dignité de la personne

## **2.6 Expertise médico-légale d'estimation d'âge**

### **2.6.1 Introduction à l'expertise médico-légale**

L'expertise médico-légale, en tant qu'expression de la médecine légale, se distingue sur le plan éthique du modèle hippocratique traditionnel des soins cliniques. Son cadre moral doit être adapté à l'objectif spécifique qui consiste à éclairer les décisions administratives, juridiques et gouvernementales, contribuant ainsi à l'équité sociale [64]. Elle désigne l'application des connaissances médicales à des questions juridiques, tant dans le cadre civil que pénal [65].

Les magistrats sont fréquemment dans l'obligation d'avoir recours aux avis de médecins experts, spécialisés dans les différentes disciplines médicales. L'expertise est donc un moyen de preuve qui fait partie des mesures d'instruction que le juge est libre d'ordonner [66].

### **2.6.2 Les domaines d'application de l'estimation de l'âge**

Les indications relatives à la détermination de l'âge existent dans le cadre et en dehors des procédures pénales et sont commandées par les tribunaux, les services d'aide à l'enfance et les administrations [13, 67, 68] . En outre, la détermination de l'âge est souvent utilisée dans les cas impliquant des cadavres et des squelettes non identifiés afin de faciliter leur identification [69, 70]. l'estimation de l'âge chronologique trouve son intérêt, chez le sujet vivant, en raison de l'existence de juridictions spécialisées et de règles de procédures spécifiques concernant les mineurs (par exemple absence de mesure d'expulsion à l'encontre des étrangers mineurs) [5].

Ces dernières années l'augmentation marquée des flux migratoires transfrontaliers ne cesse d'augmenter, Cette tendance peut être considérée comme la principale raison pour laquelle il n'existe pas de données fiables sur les naissances pour une proportion croissante de résidents étrangers dans de nombreux pays [71]. Pour cela une estimation médico-légale de l'âge est demandée par les tribunaux et d'autres autorités gouvernementales afin que les immigrants dont l'âge réel est inconnu ne subissent pas de désavantages injustes en raison de leur âge supposé,

et afin que toutes les procédures juridiques pour lesquelles l'âge d'une personne est pertinent puissent être correctement suivies [13].

En médecine légale, l'estimation de l'âge est l'une des composantes du profil biologique avec le sexe, la stature et l'origine, visant à réduire le champ des identités possibles [72].

En anthropologie biologique, l'âge au décès est une évaluation de la maturité ou de la sénescence d'un individu à partir de critères observables sur les restes osseux ou dentaires [73].

### **2.6.3 Les étapes de l'expertise médico-légale pour l'évaluation de l'âge chez le vivant**

Groupe d'étude sur le diagnostic médico-légal de l'âge (AGFAD) a été créé en 1999 suite au constat d'une hétérogénéité de la méthodologie d'évaluation d'âge lors d'un congrès de médecine légale en Allemagne, en vue d'établir des recommandations de bonne pratique pour l'estimation de l'âge chez le vivant [74].

Ces recommandations stipulent que si une estimation de l'âge doit être utilisée dans le cadre d'un contexte médico-légal, elle doit toujours s'appuyer sur une combinaison d'examen physiques visant à déterminer les données anthropométriques, les indications de maturité sexuelle et tout trouble du développement pouvant avoir une incidence sur l'âge, d'un examen dentaire visant à enregistrer l'état dentaire et à évaluer un orthopantomogramme, et d'un examen radiographique de la main gauche. Si le tribunal a besoin de savoir si l'accusé a atteint l'âge de 21 ans, un examen radiographique supplémentaire de la clavicule doit également être envisagé [71]. L'âge pubertaire est souvent évalué à l'aide de l'échelle de Tanner : Utilisée pour décrire le développement des organes sexuels et des caractéristiques sexuelles secondaires.

la courbe de croissance : Des changements rapides ou inattendus dans la courbe de croissance peuvent indiquer un début précoce ou tardif de la puberté.

L'évaluation peut aussi se faire à l'aide de tests hormonaux pour vérifier les niveaux de gonadotrophines, d'œstrogènes ou de testostérone.

L'âge dentaire repose sur la chronologie d'apparition des dents déciduales et définitives. Il est basé sur l'étude de l'éruption et de la minéralisation de la couronne, du développement de la racine et de son apexification [75]. L'âge osseux correspond au stade de maturation du squelette. Sa détermination est basée sur l'analyse de l'activité des cartilages de conjugaison, visible sur les épiphyses [26].

#### **2.6.3.1 L'examen physique**

L'examen physique externe donne une évaluation du rapport statur pondéral, du développement des caractères sexuels secondaires.

### **2.6.3.1.1 Les courbes de croissances**

Les courbes de croissance taille/poids utilisées en pédiatrie ne peuvent permettre de déterminer un âge. Elles servent seulement à déterminer s'il existe une certaine harmonie ou non dans le développement d'un enfant. L'accélération de la vitesse de croissance staturale débute dès les premiers signes pubertaires. Les mensurations faites sur des sujets qui ont commencé leur puberté doivent être comparées à des abaques correspondant à la population actuelle [76].

### **2.6.3.1.2 L'état de développement des caractères sexuels secondaires**

La puberté se définit comme l'ensemble des phénomènes physiques, psychiques, mentaux et affectifs, caractérisant la transition entre l'enfance et l'âge adulte [77]. Sur le plan physique, elle est essentiellement marquée par l'acquisition des caractères sexuels secondaires, l'accélération de la croissance staturale, ainsi que par la maturation de la fonction sécrétoire gonadique et l'acquisition des fonctions de reproduction. La maturation sexuelle suit en général un ordre déterminé dans les deux sexes [17]. L'âge de début de la puberté et la rapidité du développement sexuel sont contrôlés par des facteurs neuroendocriniens et endocriniens. Les transformations corporelles de la puberté se caractérisent par l'apparition des caractères sexuels secondaires qui sont :

#### **Chez la fille**

A Le début de la puberté est défini par l'apparition des seins (thélarche) qui survient physiologiquement entre les âges de 8 et 13 ans. Parallèlement au développement mammaire, les pilosités pubienne (pubarche) puis axillaire vont apparaître ; la position de la vulve va devenir horizontale et le volume des lèvres va augmenter.

L'âge physiologique de ménarche (premières règles) survient en moyenne 2 ans après le début de la puberté (12,5 ans en moyenne) [17].

#### **Chez le garçon**

Le début de la puberté est défini par l'augmentation de volume testiculaire (volume  $\geq 4$  ml ou longueur  $\geq 25$  mm) observé entre les âges de 9 et 14 ans. La pubarche et la pilosité axillaire se développent progressivement ; les organes génitaux externes OGE se modifient avec une augmentation de la taille de la verge ( $\geq 6$  cm). Une gynécomastie transitoire modérée est fréquemment observée en début de puberté. Plus tardivement apparaissent la pilosité faciale et la mue de la voix (14–15 ans) [17].

### 2.6.3.1.3 Classification de Tanner

Les paramètres de cette classification sont : développement mammaire chez la fille (S), développement testiculaire chez le garçon (G), pilosité pubienne (P). Les différents stades du développement pubertaire sont cotés de 1 (stade prépubère) à 5 (stade adulte), permettant d'évaluer le niveau pubertaire lors de l'examen physique voir (Tableau 3).

Le volume testiculaire est estimé par l'orchidomètre parmi les volumes suivants : 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 15 - 20 - 25 ml. À noter que la pilosité axillaire (A) est cotée entre 1 et 3 selon son absence (1) ou son développement adulte (3).

Tableau 3: classification de Tanner [78].

<b>Développement mammaire chez la fille (S)</b>	
<b>S1</b>	Absence de développement mammaire
<b>S2</b>	Petit bourgeon mammaire avec élargissement de l'aréole
<b>S3</b>	Glande mammaire dépassant la surface de l'aréole
<b>S4</b>	Saillie de l'aréole et du mamelon sur la glande, sillon sous-mammaire
<b>S5</b>	Aspect adulte
<b>Développement des OGE chez le garçon (G)</b>	
<b>G1</b>	Testicules et verge de taille infantile : volume testiculaire <4 ml (longueur testiculaire <2,5 cm)
<b>G2</b>	Volume testiculaire : 4–6 ml (longueur testiculaire : 2,5–3,0 cm)
<b>G3</b>	Volume testiculaire : 8–10 ml (longueur testiculaire : 3,1–4,0 cm)
<b>G4</b>	Volume testiculaire : 12–15 ml (longueur testiculaire : 4,1–4,5 cm)
<b>G5</b>	Aspect adulte, volume testiculaire : 20–25 ml (longueur testiculaire >4,5 cm)
<b>Pilosité pubienne (P)</b>	
<b>P1</b>	Absence de pilosité
<b>P2</b>	Quelques poils sur le pubis
<b>P3</b>	Pilosité pubienne au-dessus de la symphyse
<b>P4</b>	Pilosité pubienne triangulaire n'atteignant pas la racine des cuisses
<b>P5</b>	Aspect adulte (triangulaire chez la femme, losangique chez l'homme s'étendant à la racine des cuisses)

## **2.6.4 Les différentes méthodes d'évaluation et techniques de Références**

### **2.6.4.1 Les techniques basées sur la maturation osseuse du poignet et de la main**

#### **2.6.4.1.1 Introduction**

La maturité du squelette est une mesure du développement qui intègre la taille, la forme et le degré de minéralisation de l'os pour définir sa proximité avec la maturité complète. L'évaluation de la maturité du squelette implique un examen rigoureux de multiples facteurs et une connaissance fondamentale des divers processus par lesquels l'os se développe. Jusqu'à l'âge de 18 ans, les os et la main sont les régions anatomiques les plus étudiées pour le diagnostic de l'âge [17]. Le développement des os de la main et du poignet détermine le développement du squelette dans son ensemble [10]. La radiographie de la main et du poignet en vue antérieure et postérieure est la mieux adaptée à la visualisation des os de la main. Les techniques de Greulich et Pyle et Tanner-Whitehouse (TW2) sont les techniques d'âge squelettique les plus utilisées aujourd'hui. Malgré leurs approches théoriques différentes, elles sont toutes deux basées sur la reconnaissance d'indicateurs de maturité des os de la région de la main et du poignet à partir d'une simple radiographie de cette dernière, c'est-à-dire des changements dans l'aspect radiographique des épiphyses des os tubulaires depuis les premiers stades de l'ossification jusqu'à la fusion avec la diaphyse, ou des changements dans les os plats jusqu'à ce qu'ils atteignent la forme de l'adulte [19].

#### **2.6.4.1.2 Les applications médicales de la maturation osseuse de la main et du poignet**

Une seule lecture de l'âge squelettique informe le clinicien de la maturité relative d'un patient à un moment donné de sa vie et intégrée à d'autres résultats cliniques, permet de distinguer les personnes normales de celles qui sont relativement avancées ou retardées. Les relevés successifs de l'âge du squelette indiquent la direction du développement de l'enfant et/ou montrent ses progrès sous traitement [26].

#### **Diagnostic des troubles de la croissance**

L'évaluation de l'âge du squelette est d'une grande importance pour le diagnostic des troubles de la croissance, qui peuvent être classés en deux grandes catégories avec des étiologies, des pronostics et des traitements différents.

**Les retards de croissance** sont beaucoup plus fréquents que les gigantismes. Ils posent deux problèmes : celui de l'étiologie d'une part et de l'indication d'un traitement d'autre part. L'âge osseux ne représente qu'un élément du développement d'un enfant, qu'il faut intégrer dans le contexte clinique et biologique. Un âge osseux inférieur à l'âge civil est de meilleur pronostic qu'un âge osseux correspondant à l'âge civil, puisqu'il témoigne d'un potentiel de croissance

préservé. Un âge osseux inférieur à l'âge statural indique aussi une meilleure chance de rattrapage. Le meilleur pronostic de croissance est donc observé dans le cas où l'âge osseux est inférieur à l'âge statural, lui-même inférieur à l'âge chronologique [22]. Un âge osseux supérieur à un âge chronologique indique une fermeture précoce des cartilages de conjugaison, situation responsable d'une petite taille définitive.

L'**excès de la croissance** se voit lorsque un retard important de l'âge osseux sur l'âge chronologique, chez un enfant présentant une avance staturale, laisse présager d'une future grande taille et est généralement lié à une hypersécrétion d'hormone de croissance (GH) [79].

### **2.6.4.1.3 Les méthodes basées sur les différents Atlas**

#### **2.6.4.1.3.1 L'Atlas de Greulich et Pyle**

L'Atlas radiographique du développement squelettique de la main et du poignet de Greulich et Pyle est la méthode recommandée dans tous les protocoles internationaux pour l'estimation de l'âge subadulte de la main et du poignet à des fins médico-légales [80].

Il est important de noter que l'atlas n'a pas été conçu initialement pour l'estimation médico-légale de l'âge, mais plutôt pour détecter chez des enfants et des adolescents certaines pathologies et en particulier des retards de croissance [81].

L'atlas est basé sur le système établi par Todd (1937) qui a développé un atlas radiographique de la maturation du squelette de la main basé sur les données de la Fondation de Brush entre 1931 et 1936. Cette dernière série de recherches consiste en des données longitudinales d'individus au statut économique et/ou éducatif « supérieur à la moyenne », nés aux États-Unis, de race blanche et d'ascendance nord-européenne.

Greuliche & Pyle ont utilisé à la fois **les données de Todd** et les données obtenues ultérieurement dans la série entre 1936 et 1942. Greuliche & Pyle ont évalué le développement du squelette sur un total de **6 879** radiographies main-poignet (**3 458 garçons, 3 421 filles**). À partir de ces radiographies, une série de normes spécifiques au sexe a été sélectionnée, couvrant le développement de la naissance à 19 ans pour les garçons et jusqu'à 18 ans pour les filles. L'intervalle entre les normes d'âge est de 3 mois jusqu'à l'âge d'un an, de 6 mois jusqu'à l'âge de 5 ans, puis tous les ans (avec une norme supplémentaire à 13,5 ans pour les filles et à 15,5 ans pour les garçons). La radiographie choisie comme norme d'âge a été jugée la plus représentative (par exemple, le mode anatomique) du développement dans le groupe d'âge spécifique [82].

La radiographie à évaluer est comparée à la série de clichés standard, et l'âge attribué au cliché standard qui correspond le mieux est considéré comme l'âge squelettique de l'enfant. La

simplicité apparente et la rapidité avec laquelle un âge squelettique peut être attribué ont fait de cet atlas la référence standard la plus couramment utilisée pour la maturation du squelette dans le monde entier. Greulich et Pyle n'ont pas formellement recommandé de technique spécifique pour l'utilisation de leur atlas. Ils ont plutôt suggéré aux utilisateurs de l'atlas de développer leur propre méthode en fonction de leurs préférences.

Pyle et al ont toutefois suggéré une approche assez lourde consistant à attribuer à chaque centre d'ossification un âge osseux spécifique et à calculer la moyenne des âges. En général, lorsqu'il y a une divergence entre les os du carpe et les centres distaux, il faut accorder plus de poids aux centres distaux parce qu'ils ont tendance à être mieux corrélés avec le potentiel de croissance [28]. Les auteurs indiquent que la précision des normes de l'atlas se situe entre **0,6 et 1,1 an**, mais notent que l'application des normes à des populations étrangères pourrait réduire leur précision.



Figure 18: exemple d'une évaluation de l'AO par AGP.

Au milieu de l'image : une radiographie de la main et du poignet gauche d'une fille de 7 ans et 10 mois, à gauche : une radiographie de l'AGP d'une fille de 6ans et 10 mois, à droite : une radiographie de AGP d'une fille de 7 ans et 10 mois.

#### 2.6.4.1.3.2 L'Atlas de Thieman Nietz

Etude de Thieman et Nietz consistait à produire un atlas radiographique du développement du squelette du poignet de la main (similaire à celui de Greuliche & Pyle) à usage pédiatrique en Allemagne [83]. Les auteurs de cet atlas ont analysé 5 200 radiographies du poignet de la main d'individus âgés de 0 à 18 ans. Les radiographies ont été obtenues auprès de 20 institutions médicales de l'ancienne République démocratique allemande entre 1977 et 1979. Chaque norme

est séparée par un intervalle d'âge : 3 mois entre les standards de la naissance jusqu'à l'âge de 1 an ; 6 mois entre 1 et 14 ans ; et des intervalles annuels jusqu'à 18 ans [84].

Les images des normes sont accompagnées de diagrammes et de descriptions écrites. L'atlas a été révisé en 2006 pour inclure 300 individus supplémentaires qui se situaient en dehors des doubles écarts types de taille et de poids, et qui avaient donc été exclus de l'atlas original. Dans la révision la plus récente, les auteurs indiquent que l'écart-type des estimations de l'âge du squelette se situe entre 0,2 et 1,2 an. [82].

#### **2.6.4.1.3.3 L'Atlas de Gilsanz et Ratib**

La méthode de Gilsanz et Ratib (GR) est basée, comme la méthode de Greulich et Pyle, sur l'évaluation des radiographies du poignet gauche par des observateurs. L'AGP est une méthode plus récente avec des images numériques, la qualité des images est supérieure à celle de l'AGP [85]. Les auteurs ont évalué les radiographies numériques du poignet gauche de 550 personnes (225 garçons, 225 filles) recrutées dans des écoles et des clubs d'activité physique de Los Angeles. Tous les sujets étaient de race blanche et d'origine européenne. Les radiographies ont été regroupées en 29 groupes d'âge spécifiques au sexe, de la naissance à 18 ans. Chaque norme d'âge de référence dans l'atlas a été choisie parmi un ensemble de 9 radiographies numériques par groupe d'âge et par sexe, avec une image composite créée si nécessaire pour produire une moyenne idéalisée. Les auteurs ont également produit une application compatible avec les smartphones et les tablettes [82].

#### **2.6.4.1.4 Les méthodes basées sur les scores mathématiques**

##### **2.6.4.1.4.1 La méthode de Tanner White House**

La méthode Tanner-Whitehouse (TW), développée dans les années 1950 et 1960, est un outil précis et largement utilisé pour évaluer l'AO sur la base de radiographies de la main et du poignet. Elle attribue des scores en fonction de l'ossification de 20 os, avec un maximum de 1000 points à la pleine maturité. La méthode a évolué en trois versions : TW1 (1962), basée sur des radiographies d'enfants européens blancs [86]; TW2 (1975), qui a été mise à jour pour refléter les populations contemporaines [87]; et TW3 (2001), qui introduit un processus en deux phases. Tout d'abord, 13 régions d'intérêt sont évaluées au lieu des 20 os de la version originale, puis le score total est comparé à des tableaux de référence pour estimer l'âge osseux (AO) en fonction de l'âge chronologique (AC) [88].

#### **2.6.4.1.4.2 La méthode de Fels**

La méthode de Fels se base aussi sur la maturation des os de la main, mais préférentiellement lorsque ceux-ci ont atteint une valeur seuil qui correspond à au moins le même changement observé dans 50% de la population de référence [89].

La méthode FELS est une alternative à celle de Tanner-Whitehouse. Au total, 13 823 radiographies du poignet gauche ont été évaluées, prises sur 677 personnes (355 garçons, 322 filles) de Yellow Springs, dans l'Ohio. Les radiographies ont été prises entre 1932 et 1977 dans le cadre de l'étude longitudinale de Fels sur la croissance et le développement. Les radiographies ont été prises aux intervalles d'âge suivants : trois mois après l'âge d'un mois jusqu'à l'âge d'un an ; et intervalles de six mois jusqu'à l'âge de 18 ans. L'échantillon comprenait principalement des individus caucasiens.

Chaque radiographie a été évaluée pour une partie des 85 indicateurs de maturité gradués et des 13 indicateurs métriques. Ces indicateurs comprennent (sans s'y limiter) la présence ou l'absence d'une épiphyse, le rapport entre la largeur épiphysaire et la largeur métaphysaire, et la présence ou l'absence de projections osseuses (telles que l'hamulus et l'apophyse styloïde). Les indicateurs spécifiques utilisés dans une évaluation dépendent du niveau de développement visible sur la radiographie, la moyenne se situant autour de 50. Chaque indicateur se voit ensuite attribuer un grade numérique, avec 61 indicateurs de présence/absence (deux grades), 17 indicateurs de trois grades, 5 indicateurs de quatre grades et deux indicateurs de cinq grades. Les auteurs ont développé un programme informatique qui permet de calculer l'âge du squelette et l'erreur standard de l'estimation une fois que les grades évalués ont été introduits [47].

#### **2.6.4.1.4.3 La méthode de Sempé et le Logiciel Maturus**

Maturus 4.0 est une application informatique de la méthode de Michel Sempé [90], qui fournit une évaluation de la concordance entre les radiographies du poignet et de la main et l'âge déclaré. Elle est basée sur un système de notation dans lequel 22 indicateurs de maturité de la main et du poignet sont pondérés numériquement. Pour chaque indicateur analysé, le programme propose les trois niveaux de maturité les plus probables (parmi 10 niveaux possibles représentés par des lettres) en fonction de l'âge chronologique. Toutefois, l'examineur peut avancer ou reculer jusqu'à la sélection. Pour l'aider dans son choix, le stade de développement de chaque indicateur est représenté par une image radiologique, une référence schématique et un texte descriptif. Après avoir attribué des scores à chacun des 22 indicateurs, le programme donne les résultats, qui comprennent l'âge osseux, le pourcentage de maturité squelettique et la localisation dans la courbe de maturation osseuse [91].

#### 2.6.4.2 L'évaluation d'âge par L'étude de l'extrémité médiale de la clavicule

La clavicule est le premier os du squelette à s'ossifier durant la vie fœtale, et l'extrémité médiale, ou sternale, est la dernière épiphyse du squelette à fusionner, au cours de la troisième décennie de la vie – 25 ans d'après un manuel d'anatomie [92].

L'évaluation radiologique du degré d'ossification du cartilage épiphysaire claviculaire médian joue un rôle essentiel dans le diagnostic médico-légal de l'âge des adolescents et des jeunes adultes vivants [93].

En 2004 Schmeling [94] et al ont étudié 699 radiographies thoraciques simples d'individus allemands âgés de 16 à 30 ans, ils ont analysé le degré d'ossification du cartilage épiphysaire de l'extrémité médiale de la clavicule ; cinq stades ont été proposés (Figure 19, Figure 20)

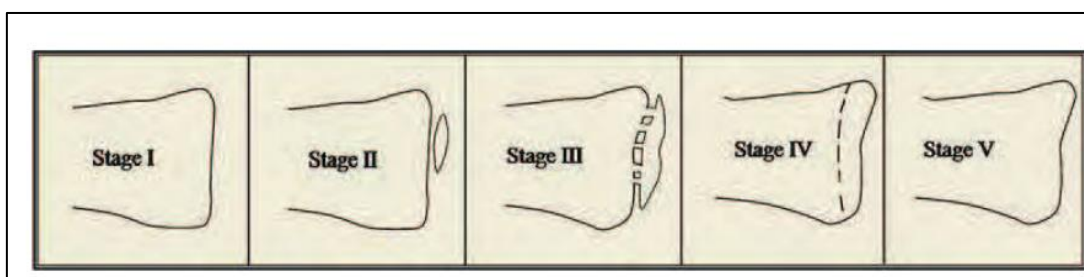


Figure 19: Classification en 5 stades de l'extrémité médiale de la clavicule, mise au point par Schmeling [95].

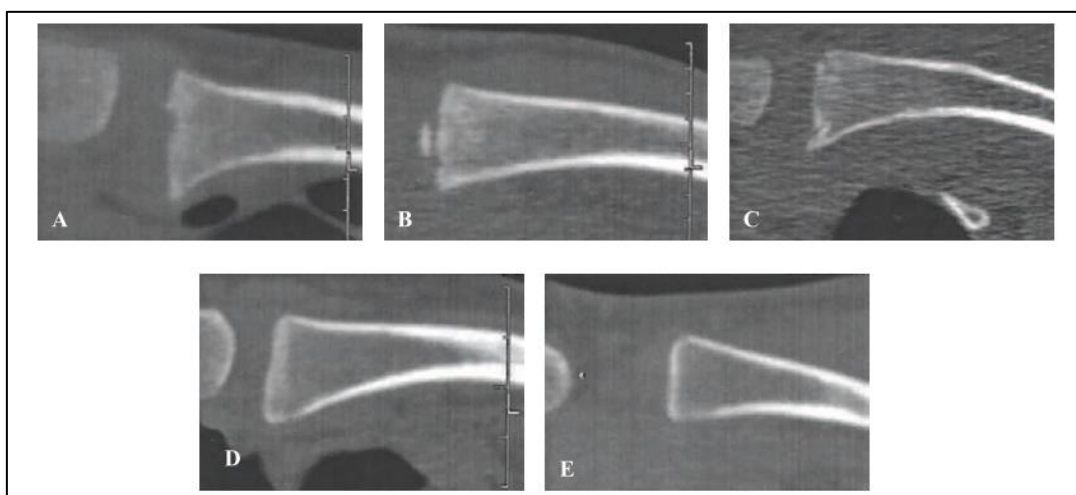


Figure 20: Classification de Schmeling adaptée au scanner [95].

1 : épiphyse non ossifiée, 2 : centre d'ossification discernable, 3 : fusion partielle, 4 : fusion totale, un stade 5 a également été défini, caractérisé par la disparition de la cicatrice épiphysaire après fusion totale. L'âge le plus précoce auquel le stade 3 a été détecté chez l'un ou l'autre sexe était de 16 ans. Le stade 4 a été observé pour la première fois chez les femmes à 20 ans et chez les hommes à 21 ans. Chez les deux sexes, le stade 5 a été observé pour la première fois à 26 ans [93].

Schulz et al [95] ont analysé rétrospectivement 629 images de scanner thoracique de patients âgés de 15 à 30 ans produites lors de diagnostics de traumatismes multiples à l'Unfallkrankenhaus de Berlin. Les auteurs ont déterminé de manière fiable l'état d'ossification de l'épiphyse médiane de la clavicule dans 556 cas, en utilisant la classification des stades de Schmeling et al [94]. Dans les deux sexes, le stade 2 a été observé pour la première fois à l'âge de 15 ans. Chez les patients de sexe masculin, le stade 3 est apparu le plus tôt à l'âge de 17 ans, et chez les patients de sexe féminin à l'âge de 16 ans. Le stade 4 a été observé pour la première fois par les deux sexes à l'âge de 21 ans. Le stade 5 a été observé pour la première fois chez les femmes à l'âge de 21 et chez les hommes à l'âge de 22 ans, soit 4 ou 5 ans plus tôt que ce qui a été observé dans une étude comparable utilisant des radiographies conventionnelles [96].

#### ***2.6.4.3 L'évaluation d'âge par L'étude de la crête iliaque : Classification de***

##### **Risser**

Le test de Risser permet d'apprécier la maturation osseuse grâce à l'étude de l'ossification de la crête iliaque sur un cliché radiographique du bassin d'un adolescent.

En 1958, Joseph C. Risser a décrit l'aspect de l'apophyse iliaque qui couvre les parties antérieure et latérale de la crête iliaque sur une radiographie de bassin de face. Au fur et à mesure de la croissance, l'apophyse recouvre la crête iliaque, puis le développement se fait dans le plan postérieur vers l'épine iliaque postéro-supérieure, jusqu'à rejoindre l'ilion au niveau de sa jonction avec le sacrum, l'ossification est alors complète. Il y a ensuite une fusion entre l'apophyse et la crête iliaque. Il a montré que l'achèvement de cette ossification avait une excellente corrélation avec celui de la croissance des vertèbres [97].

L'ossification de la crête iliaque fait l'objet de deux classifications différentes, une utilisée en France et l'autre aux États-Unis, chacune composée de 6 stades (**Figure 21**).

##### **Classification américaine**

Stade 0 : pas d'ossification. Stade 1 : ossification d'un quart de l'apophyse. Stade 2 : ossification de la moitié de l'apophyse. Stade 3 : ossification des trois quarts de l'apophyse. Stade 4 : l'apophyse est ossifiée. Stade 5 : fusion de l'apophyse ossifiée à l'aile iliaque.

##### **Classification française**

Stade 0 : pas d'ossification. Stade 1 : ossification d'un tiers de l'apophyse. Stade 2 : ossification des deux tiers de l'apophyse. Stade 3 : l'apophyse est ossifiée. Stade 4 : début de la fusion en région postérieure. Stade 5 : fusion complète de l'apophyse à l'aile iliaque.

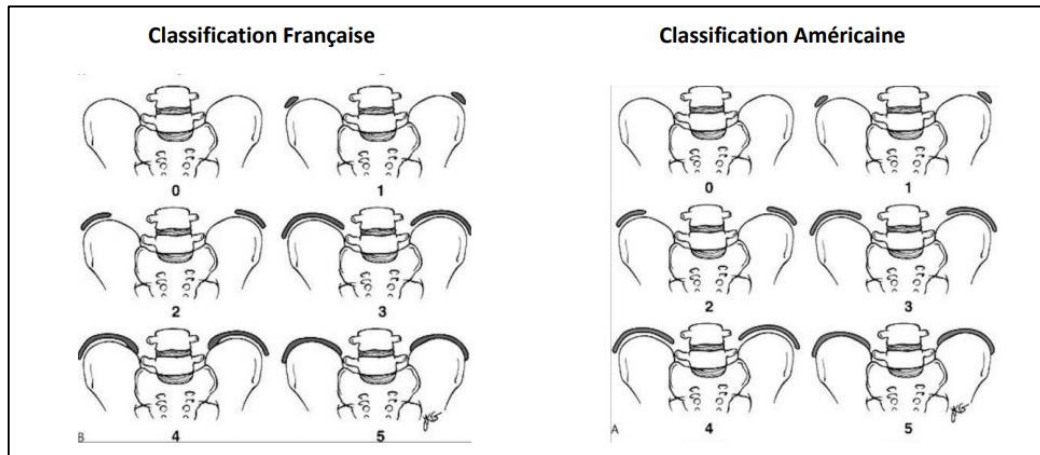


Figure 21: les différents stades de l'ossification de la crête iliaque décrits par Risser [97].

#### 2.6.4.4 L'évaluation d'âge par L'étude du coude :

La méthode de Sauvegrain et Nahum est basée sur l'étude de la maturation osseuse de quatre régions du coude, à partir de radiographies en incidence de face et de profil [98].

Un score est attribué à chaque région étudiée : le condyle et l'épicondyle (score de 1 à 9 points), la trochlée (score de 1 à 5 points), l'olécrâne (score de 1 à 7 points) et la tête radiale (score de 1 à 6 points). L'addition des quatre cotations permet d'obtenir un score total dont le maximum est de 27 points. Ce résultat est reporté sur une courbe avec lecture directe de l'âge osseux selon le sexe (Figure 22).

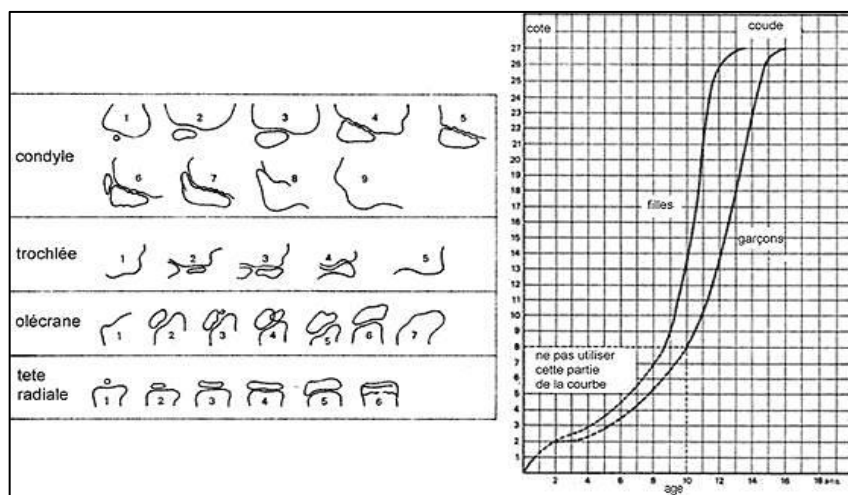


Figure 22: Evaluation de l'âge par la méthode de Sauvegrain Nahum [98].

#### 2.6.4.5 L'évaluation d'âge par L'étude du genou

Le genou représente une zone anatomique idéale qui peut fournir de nouvelles informations et qui peut être utilisée en combinaison avec d'autres techniques, afin de maximiser la précision

de l'estimation de l'âge. L'articulation du genou constitue une zone anatomique facilement radiographiée à de faibles doses d'irradiation, sans structures anatomiques interposées, le genou peut également être facilement positionné pour les radiographies antéro-postérieures, il fournit des informations pour trois épiphyses en même temps, à savoir l'extrémité distale du fémur, l'extrémité proximale du tibia et du péroné [99].

Pyle et Hoerr ont élaboré un atlas à partir des données recueillies dans le cadre de l'étude Cleveland qui s'est déroulée en Amérique du Nord en 1926 [100]. Cette étude longitudinale sur la croissance des enfants impliquait la collecte de données anthropométriques et de radiographies de la naissance à l'âge de 21 ans. Au total, les données de 4 483 enfants ont constitué l'ensemble de données qui a également été enrichi par des radiographies d'enfants recueillies à Boston par le Dr Harold C. Stuart [100].

En 2012 Camérière et al ont publié une étude rétrospective sur un échantillon de 215 radiographies du genou de jeunes italiens [99] , à partir de laquelle une classification, de trois stades, a été appliquée (Figure 23) :

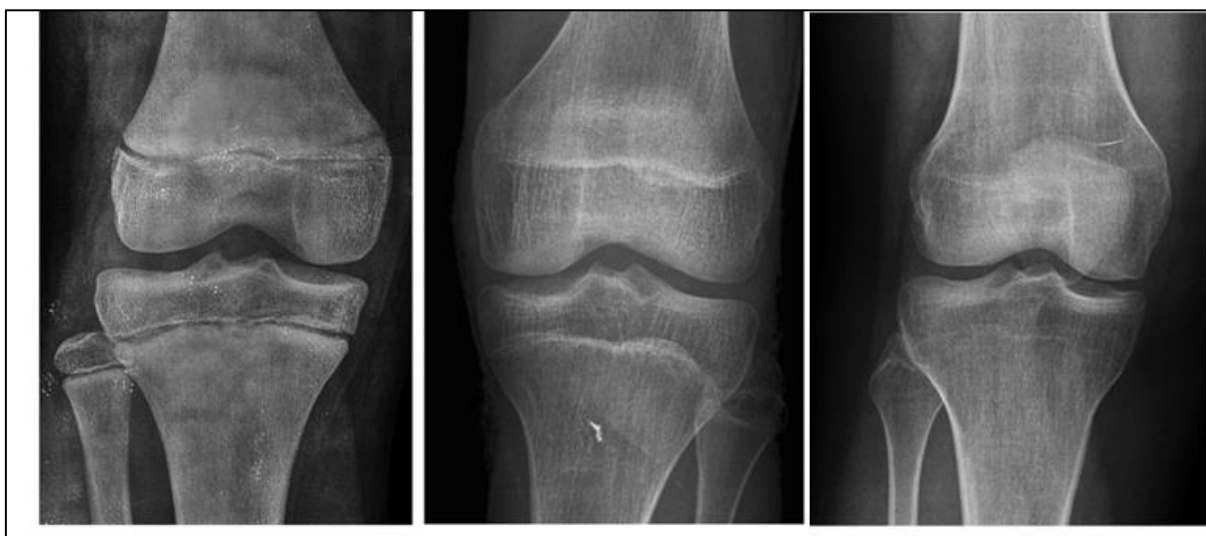


Figure 23: L'évolution de la fusion épiphysaire du genou [101].

Stade 1 : pas de fusion. Stade 2 : fusion totale, ligne épiphysaire visible. Stade 3 : fusion totale, absence de ligne épiphysaire.

Un score total correspondait à la somme des stades obtenus pour chaque épiphysaire [93].

#### **2.6.4.6 L'étude de la première cote**

Dr. Nicholas Michelson, dans sa recherche en 1934 [102], a analysé 5098 radiographies du thorax des deux sexes et des deux races mélanoderme et caucasienne, dans lesquelles il a

quantifié le degré d'ossification du cartilage costal de la première côte selon cette classification qui a été décrite par Ernst [102] :

- Stade 0 : pas d'ossification du cartilage costal de la première côte.
- Stade 1 : signes d'ossification initiale dans le cartilage.
- Stade 2 : ossification de 50% du cartilage costal.
- stade 3 : ossification complète ou presque complète du cartilage costal de la première côte.

Garamendi et al ont étudié le degré d'ossification du cartilage costal de la première côte sur un échantillon de 123 sujets des deux sexes (61 hommes et 62 femmes) d'origine hispanique, une radiographie thoracique postéro-antérieure a été faite pour chaque personne [103].

D'après les résultats de ces deux études et l'inexistence d'étude publiée dans laquelle un sujet de moins de 21 ans d'âge chronologique présente une ossification de la première côte à un stade 3 du système de stades de Michelson. D'autre part, dans la plupart des cas, lorsqu'un sujet a une première côte au stade 0 d'ossification, son âge chronologique est inférieur à 25 ans dans la série de Michelson et même inférieur à 20 ans dans l'étude de Garamendi série [103].

#### ***2.6.4.7 L'évaluation d'âge par l'étude des vertèbres cervicales (cervical vertebral maturation (CVM)***

Cette approche diagnostique utilise des données dérivées de la deuxième (C2), troisième (C3) et quatrième (C4) vertèbres cervicales. Six stades de maturation de ces trois vertèbres cervicales peuvent être déterminés, sur la base de la morphologie de leurs corps. La première étape consiste à évaluer le bord inférieur de ces corps vertébraux, en déterminant s'ils sont plats ou concaves (c'est-à-dire la présence d'une encoche visible). La deuxième étape de l'analyse consiste à évaluer la forme de C3 et C4. Ces corps vertébraux changent de forme selon une séquence typique, passant de la forme trapézoïdale à la forme rectangulaire horizontale, à la forme carrée et à la forme rectangulaire verticale. En règle générale, les stades cervicaux 1 et 2 sont considérés comme prépubères, les stades 3 et 4 comme pubères et les stades 5 et 6 comme postpubères. La reproductibilité de la méthode CVM a été critiquée. Une diminution de la fiabilité peut être observée, du moins en partie, en raison de l'absence de description définitive de la procédure de stadification dans la littérature [104].

#### ***2.6.4.8 Les techniques odontologiques***

L'être humain a deux dentitions : 20 dents de lait (4 incisives, 2 canines, et 4 molaires dans chaque mâchoire) et 32 dents permanentes (4 incisives, 2 canines, 4 prémolaires et 6 molaires dans chaque mâchoire). Le processus de développement dentaire se divise en deux parties

principales : la formation des dents et l'éruption des dents. La formation des dents est la mise en place et la minéralisation des tissus dentaires (émail, dentine et cément) selon un schéma robuste et prévisible (Figure 24); L'éruption est le mouvement dynamique continu de l'émail, de la dentine et du cément [105].

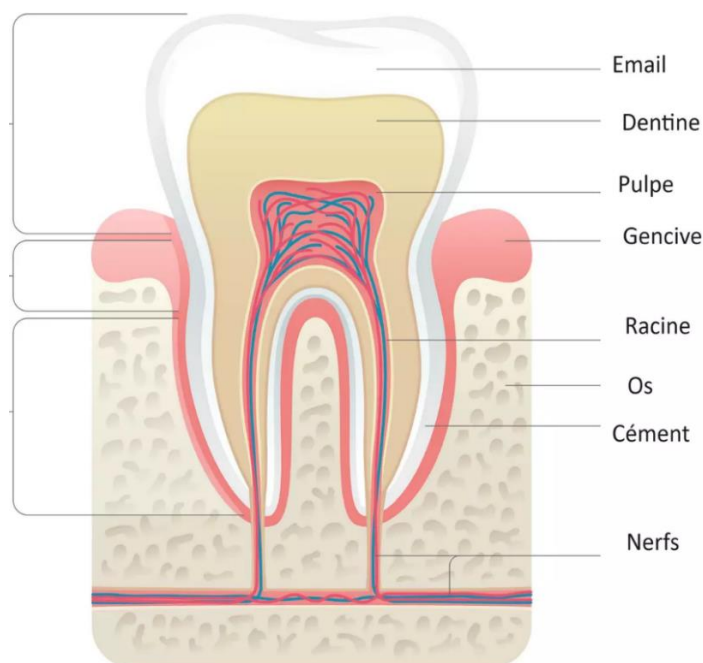


Figure 24: la composition d'une dent [106].

L'estimation de l'âge dentaire (AD) chez l'enfant et le jeune adulte peut être évalué par une méthode physique clinique ou radiologique [107], qui sont des méthodes non destructives et non invasives.

Les méthodes cliniques sont basées sur l'évaluation de la séquence d'éruption des dents temporaires ou permanentes dans la cavité buccale. Les principales méthodes d'évaluation du développement dentaire sont basées sur des examens radiologiques [107]. La plupart des méthodes radiographiques d'estimation de l'âge sont basées sur des observations par rapport à un schéma dentaire [108].

#### 2.6.4.8.1 La méthode de Demirjian

C'est l'une des méthodes les plus utilisées [109-111]. Chaque stade du développement dentaire se voit attribuer un score qui fournit une estimation de la maturité dentaire sur une échelle de 0 à 100. DEMIRJIAN ET COLL [75], initialement, en observant les 7 dents permanentes mandibulaires gauches (dents de sagesse exclues) de 1482 filles et 1446 garçons franco-canadiens âgés entre 2 et 20 ans, puis cette étude a été affinée avec un échantillon plus large incluant la tranche d'âge entre 0 et 2 ans [109].

Cette méthode comporte huit stades de développement dentaire (Figure 25). L'évaluateur peut utiliser sept dents mandibulaires [109] ou quatre dents mandibulaires (prémolaires et 1ère, 2ème molaires mandibulaires gauches) [111], les dents manquantes d'un côté peuvent être remplacées par le même type de dent de l'autre côté de la mâchoire, et une première molaire manquante peut être remplacée par une incisive centrale.

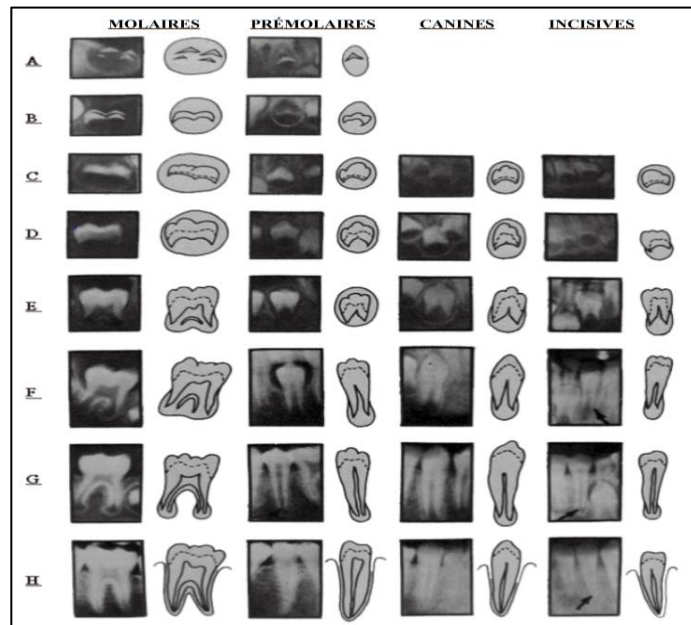


Figure 25 : les 8 stades de développement dentaire d'après Demirjian et al [83].

#### 2.6.4.8.2 La méthode de NOLLA

En 1960, Nolla a mis au point une méthode [112] dans laquelle le développement de chaque dent a été divisé en dix stades reconnaissables et numérotés catégoriquement de 1 à 10 (Figure 26). Cette méthode permet d'évaluer le développement de chaque dent de l'arcade maxillaire et mandibulaire. La radiographie du patient a été mise en correspondance avec les figures comparatives.

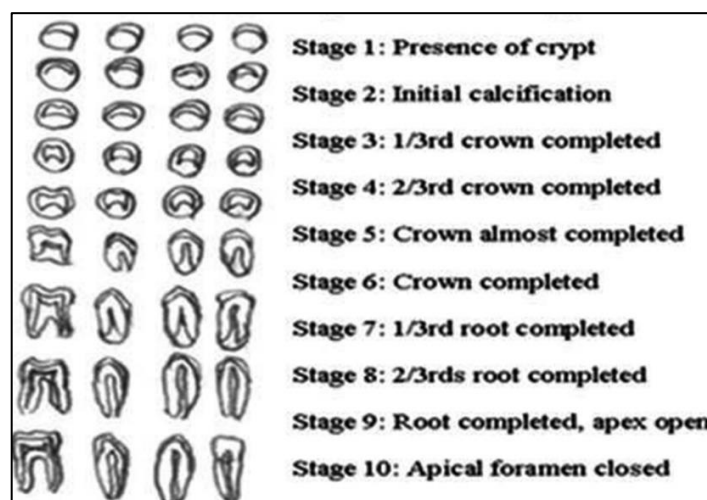


Figure 26 : tableau de développement dentaire de Nolla [112].

### 2.6.4.8.3 L'étude de Schour et Massler

En 1941, Schour et Massler [113] ont étudié le développement de dents de lait et permanentes et ont décrit 21 étapes allant de 4 à 21 ans et ont publié des tableaux numériques. En 1982, l'association dentaire américaine a mis à jour ces tableaux et les a publiés, permettant ainsi de comparer directement les stades de calcification des dents sur les radiographies avec les normes. Ces tableaux ne comportent pas d'étude distincte pour les molaires (Figure 27). En 1998, Kohl et Schwartz ont mis à jour les données de Schour et Massler et ont montré un retard dans le développement de la dentition permanente [114].

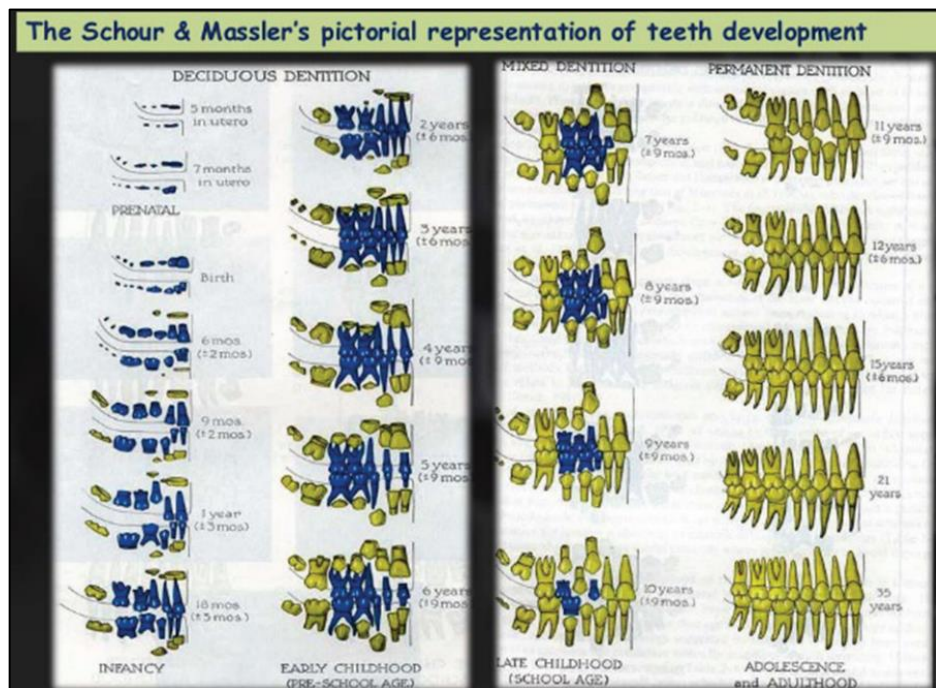


Figure 27: Tableau de développement dentaire de Schour et Massler [115].

### 2.6.5 L'expertise médico-légale d'estimation d'âge au décès

L'estimation de l'âge au décès consiste à déterminer l'âge biologique d'un individu au moment de sa mort, à partir des modifications morphologiques, radiologiques ou histologiques de ses structures osseuses et dentaires [116]. Il existe de nombreuses méthodes d'estimation de l'âge au décès basées sur l'étude macroscopique des changements morphologiques de certaines parties du squelette [117]

#### 2.6.5.1 L'estimation de l'âge au décès à partir de l'extrémité sternale de la quatrième côte par Iscan

L'une des méthodes plus utilisées en pratique courante lors des expertises anthropologiques est la méthode d'Iscan, décrite en 1984 et révisée par Hartnett en 2010 [118]. Elle est basée sur

l'étude de l'évolution des remaniements dégénératifs (Figure 28). de l'extrémité sternale de la 4ème côte droite [119].

Ces remaniements comprennent comme critères : - La profondeur de la cavité articulaire, la forme de la cavité articulaire, -la configuration du bord et du mur et la qualité de l'os.

A partir de ces observations, Iscan a décrit une classification en 9 phase morphologique (Figure 28).

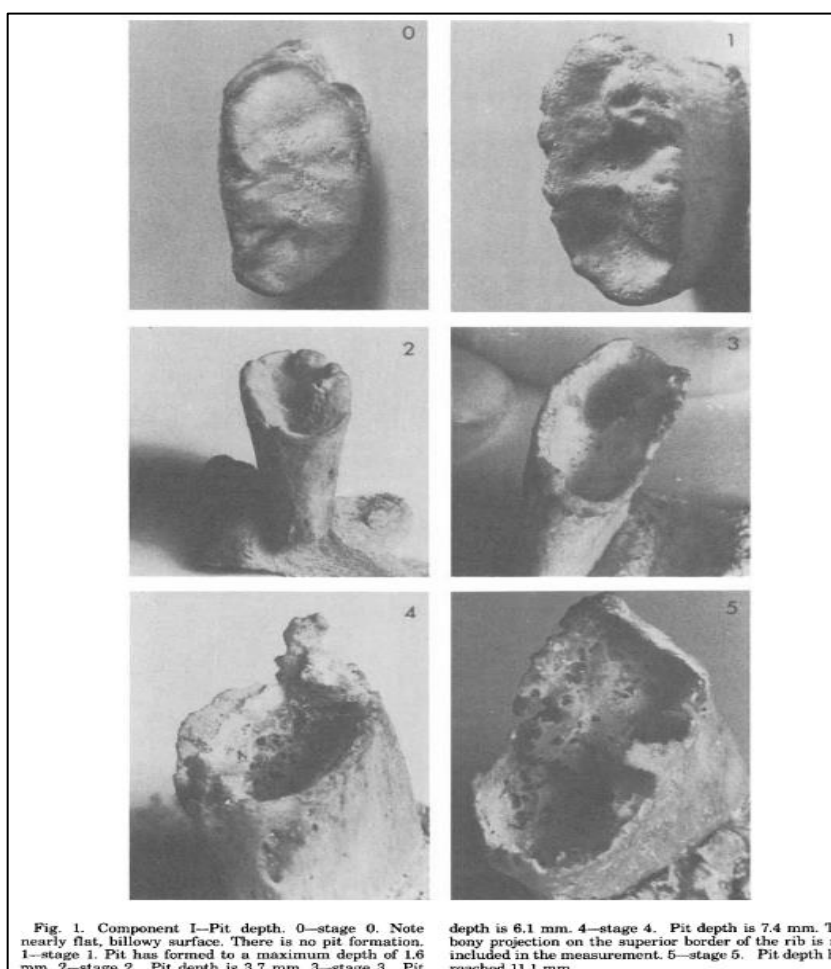


Figure 28: les différents stades de profondeur de l'extrémité sternale de la 4ème cote selon Iscan [120].

L'âge au moment du décès peut être estimé à partir d'une côte avec une marge d'erreur d'environ 2 ans pour la deuxième décennie et d'environ 7 ans pour la 5ème et la 6ème décennie de la vie. La forme de la cavité et la configuration du rebord et de la paroi ont donné de meilleurs résultats que la profondeur absolue de la cavité seule [120]. La méthode d'Iscan et Loth, décrite en 1984, a été révisée en 2010 par Kristen M. Hartnett

#### 2.6.5.2 L'étude de la symphyse pubienne : méthode de Suchey-Brooks (MSB)

La première étude basée sur l'os pubien, pour évaluer l'âge au décès a été publiée par l'anatomiste TODD en 1920 [121], plus tard, le système de TODD a été modifié par BROOKS

en 1955, de 1977 à 1979, SUCHEY a collecté un échantillon complet (n = 1 225) et bien documenté d'os pubiens pour la recherche sur la détermination de l'âge squelettique.

La MSB est couramment utilisée et elle est basée sur l'observation des processus de maturation et de dégénérescence de la symphyse pubienne (Figure 29, Figure 30).

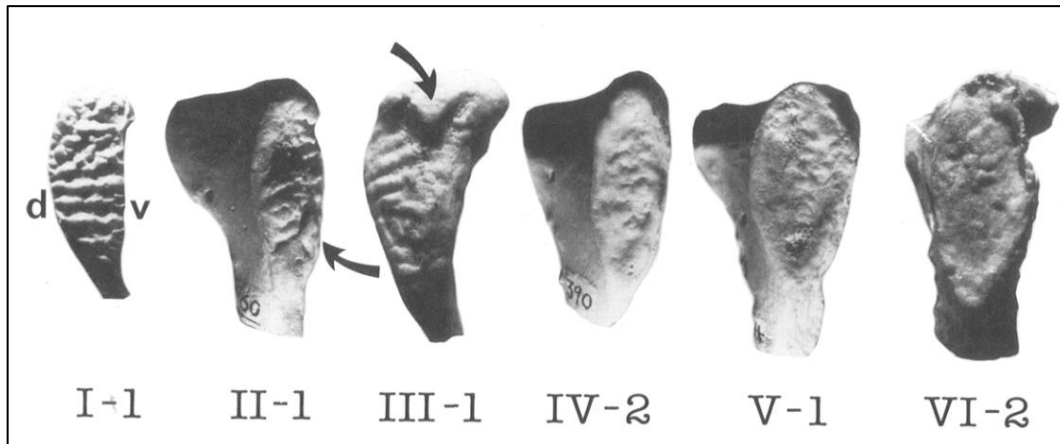


Figure 29 : Les différents stades de la méthode de Suchey-Brooks par La symphyse pubienne chez l'homme [122]

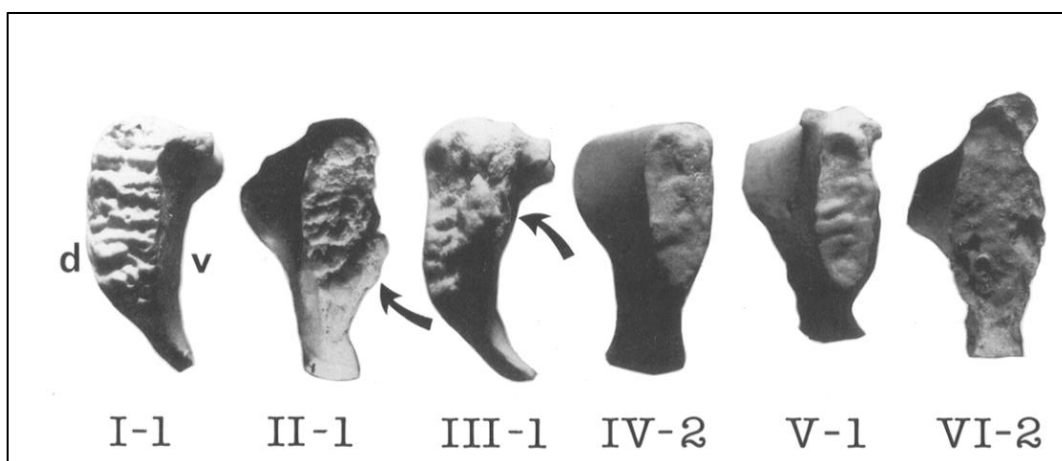


Figure 30: Les différents stades de la méthode de Suchey-Brooks par La symphyse pubienne chez la femme [122].

### 2.6.5.3 L'étude de la surface auriculaire de l'os iliaque : La méthode de Lovejoy

En 1985, Lovejoy et ses collègues [123] ont proposé un nouvel indicateur pour estimer l'âge au décès des adultes, les changements de l'articulation sacro-iliaque avec l'âge sont des processus connus. La capsule articulaire s'épaissit (Figure 31), perd de sa flexibilité, le cartilage commence à se fissurer [124].

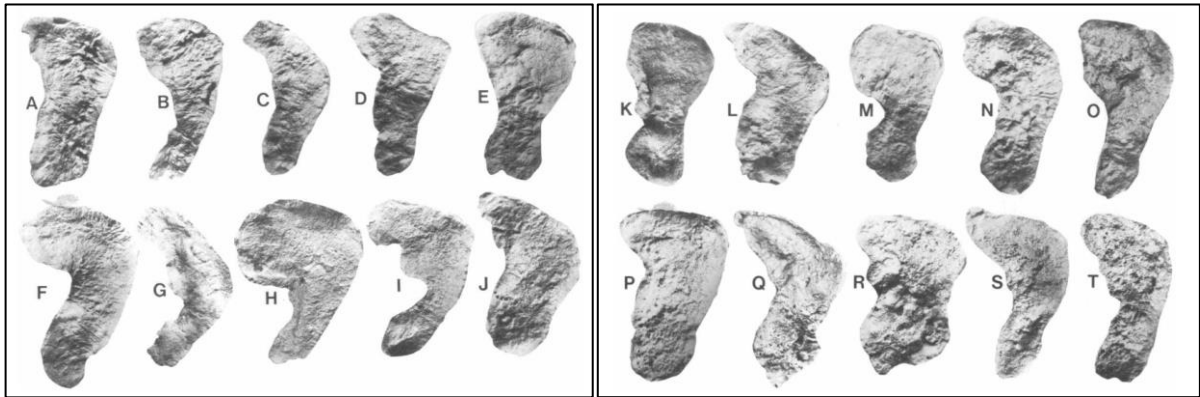


Figure 31 : les changements de la surface auriculaire avec l'âge, 3ème et 4ème décennie à gauche et 5ème et 6ème décennie [123].

#### **2.6.5.4 La méthode de Meindl et Lovejoy (MML) : l'évaluation d'âge par l'analyse de la fermeture des sutures crâniennes**

La méthode Meindl et Lovejoy [125] d'estimation de l'âge au moment du décès, basée sur le degré de fermeture des sutures crâniennes, utilise un système simple de notation ectocrânienne de sites spécifiques sur la table externe. Des scores composites pour deux groupes de sutures, les systèmes latéral-antérieur et voûte, qui sont utilisés pour fournir des estimations de l'âge au moment du décès, ont été développés à partir d'un échantillon de 236 crânes provenant de la collection Hamann-Todd [126]. Divers tests montrent que les sutures latérales-antérieures sont supérieures aux sutures de la voûte, que l'observation ectocrânienne est supérieure à l'observation endocrânienne et que les estimations de l'âge sont indépendantes de la race et du sexe. Il est conclu que la fermeture des sutures peut fournir des estimations précieuses de l'âge au moment du décès dans les contextes archéologiques et médico-légaux lorsqu'elle est utilisée en conjonction avec d'autres indicateurs de l'âge squelettique.

#### **2.6.5.5 Estimation de l'âge dentaire en post mortem**

De nombreuses méthodes ont été décrites dans la littérature telle l'estimation de l'usure des surfaces occlusales, de l'apposition de dentine secondaire, de l'apposition de cément sur la racine et de la résorption radiculaire [126-129]. On peut citer les méthodes les utilisées :

##### **2.6.5.5.1 Méthode de Lamendin**

La méthode de Lamendin fondée sur un modèle statistique de régression linéaire, relie l'âge au moment du décès à deux indicateurs dentaires [130] : la parodontolyse (P) correspondant à la perte d'attache gingivale et la translucidité radiculaire (T) qui est due à l'oblitération des tubule secondaires et à la décalcification de la racine, modifiant ainsi la réfraction de la lumière.

Pour pouvoir appliquer cette technique, la dent doit être monoradiculée et intacte; une source lumineuse type négatoscope 16 watts, une règle millimétrée et un compas sont utilisés [128]. L'âge sera estimé en appliquant la formule :  $\text{âge} = 0.18 P + 0.42 T + 25.5$ .

La parodontolyse est mesurée au compas à pointes sèches de la jonction amélo-dentinaire à la limite coronaire de l'attache gingivale ou à la limite apicale des dépôts. La translucidité radiculaire est mesurée au compas à pointes sèches de l'apex de la dent à la limite coronaire de la translucidité (Figure 32).

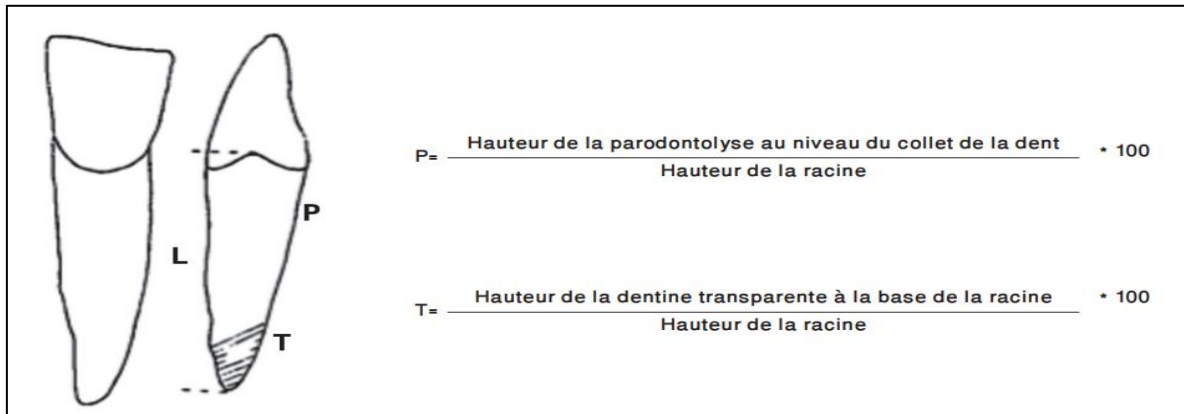


Figure 32: mesure de la parodontolyse et de la translucidité [128].

Cette méthode s'est révélée être parfaitement complémentaire de la technique osseuse de Suchey Brook et l'examen des sutures crâniennes [131].

#### 2.6.5.2 La méthode de Gustafson

la méthode de Gustafson est toujours considérée par la plupart des anthropologues comme une méthode dentaire de référence pour déterminer l'âge au décès chez les adultes[132].

Six critères ont été analysés par Gustafson [133] : la parodontose, le degré d'abrasion de la couronne, l'apposition cémentaire, la résorption radiculaire, l'apposition de dentine secondaire dans la cavité pulpaire et la transparence radiculaire.

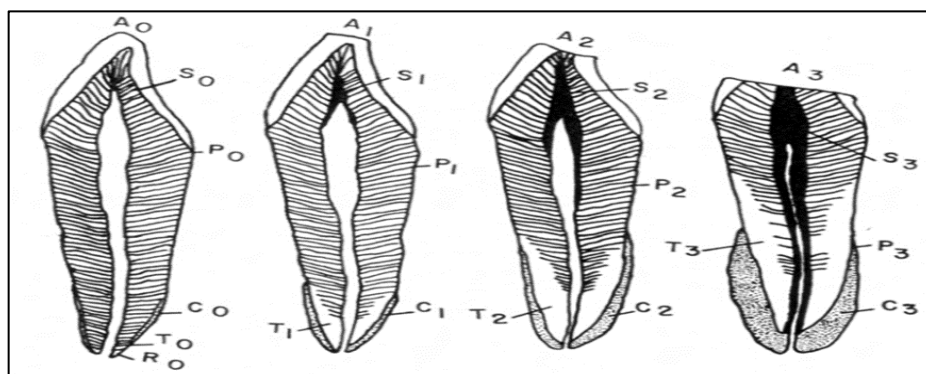


Figure 33: illustration de la cotation des critères de Gustafson (1947) [134].

Score concernant l'attrition (A), la dentine secondaire (S), la parodontose (P), l'apposition cémentaire (C) et la résorption radiculaire (R), transparence (T).

Estimation de l'âge dentaire en post mortem chez l'enfant est basée sur l'étude de la dentition qui constitue les éléments les plus classiques pour la détermination de l'âge dentaire [135]. Chez les enfants, l'estimation de l'âge dentaire en post mortem peut être réalisée selon les méthodes histologique, l'éruption et de calcification dentaire [136].

La méthode de Demirjian reste la méthode de référence pour estimer l'âge dentaire des enfants en ante et en post mortem [137, 138].

## **2.6.6 L'estimation de l'âge par l'ADN**

### **2.6.6.1 Les techniques de prélèvements d'ADN**

Le prélèvement d'ADN en médecine légale a pour objectif d'obtenir une quantité et une qualité suffisantes de matériel génétique en respectant les règles de traçabilité et de contamination [139].

#### **Frottis buccal**

Un frottis buccal consiste à collecter des cellules de la muqueuse interne de la joue (muqueuse buccale) à l'aide d'une petite brosse ou d'un tampon. L'échantillon collecté est ensuite placé dans un conteneur pour analyse en laboratoire.

**Sang** : il doit être prélevé dans des tubes EDTA.

#### **Les dents**

Les dents constituent un matériel de choix du fait de leur résistance ainsi que de leur facilité de prélèvement et de stockage. Les dents ne sont pas totalement résistantes aux contaminations mais l'émail dentaire, du fait de sa faible porosité, est une bonne barrière protectrice contre d'éventuelles dégradations (UV, moisissures, microbes...).

Si cela est possible, prélever une dent toujours incluse dans la mandibule ou le maxillaire afin d'assurer la protection des racines. Ne pas prélever de dents fissurées, cariées, ou avec des racines ouvertes puisque cela constitue des portes d'entrée aux contaminants.

#### **LES OS**

Les os sont également des sources de qualité pour les analyses ADN. Néanmoins, la quantité d'ADN conservée dans les différents types d'os est très variable.

Les os longs sont principalement utilisés. Afin d'optimiser les chances de retrouver de l'ADN il est important, si cela est possible, de choisir un os dense présentant un bon état de conservation macroscopique avec une surface intacte et une corticale épaisse. Il est préférable d'éviter les os friables, fissurés et très légers, signes d'une importante dégradation.

#### ***2.6.6.2 L'estimation de l'âge par l'étude de la méthylation de l'ADN***

La méthylation de l'ADN est une modification chimique et réversible qui concerne principalement les cytosines lorsque celles-ci sont suivies par des guanines. Cette modification de l'ADN est effectuée par des enzymes particulières appelées DNMTs pour « DNA methyl-transferase ». Dans les cellules de mammifères, cela correspond à l'ajout d'un groupement méthyl (CH<sub>3</sub>) au niveau du carbone 5 d'une cytosine [140].

Le niveau global de méthylation de l'ADN diminue avec l'âge [141] et la corrélation entre les niveaux de méthylation de l'ADN et l'âge chronologique a été découverte chez différentes espèces [142]

#### ***2.6.6.3 L'estimation de l'âge par les télomères***

Le processus de vieillissement, ou la sénescence, est lié à une évolution progressive et irréversible changements cellulaires qui semblent fonctionner comme une horloge moléculaire. La plupart des cellules somatiques ont la capacité d'un nombre limité de divisions, ce qui est la principale cause de sénescence cellulaire ([143]).

Les télomères, dont les mécanismes ont été mis en lumière par Elizabeth Blackburn, Prix Nobel de Médecine en 2009, désignent les extrémités des chromosomes. Ils sont composés de nucléotides répétitifs (TTAGGG). Ils jouent un rôle important dans le maintien intégrité du chromosome qui peut être affectée par une détérioration ou un dommage [144].

Des études ont montré que les télomères raccourcissaient avec l'âge, l'inflammation et le stress. Et ils peuvent être une méthode utile pour la prédiction de l'âge [145].

#### ***2.6.6.4 L'estimation de l'âge par les mutations somatiques de l'ADN***

Au cours d'une vie, les cellules somatiques acquièrent des mutations. Différents processus mutationnels peuvent contribuer aux mutations accumulées dans une cellule, chaque processus imprimant une signature mutationnelle sur le génome de la cellule. Certains processus génèrent des mutations tout au long de la vie à un taux constant chez tous les individus, et le nombre de mutations dans une cellule attribuables à ces processus sera proportionnel à l'âge chronologique de la personne [146].

## CHAPITRE 3

# **MATERIEL ET METHODE**

## **3 MATERIEL ET METHODE**

---

### **3.1 Présentation de l'étude**

Notre étude aborde l'applicabilité de l'Atlas de Greulich et Pyle à la population Algérienne âgée entre 12 et 18 ans. Elle consiste à estimer l'âge osseux de notre échantillon, à partir du développement osseux de la main et du poignet gauche en se référant à cet Atlas, puis le comparer à l'âge chronologique.

Les auteurs ont démontré l'impact de l'ethnie, du niveau socio-économique et des facteurs environnementaux sur le développement osseux [7, 9], dans cette optique que nous voulons évaluer l'applicabilité de cet Atlas à notre population qui ne partage pas les mêmes critères précédemment cités avec la population de l'AGP, qui est une population nord-américaine des années 1930, d'origine caucasienne, de niveau socio-économique élevé.

### **3.2 Type d'étude**

Il s'agit d'une étude descriptive multicentrique avec recrutement prospectif de la population d'étude.

### **3.3 Lieu de l'étude**

L'étude s'est déroulée dans les établissements suivants :

- Ecole des cadets de la Nation de Blida.
- Ecole des cadets de la Nation de M'sila.
- Hôpital Mixte de Djelfa
- Hôpital Mixte de Laghouat.
- Service de Médecine Légale EPH de Djelfa.
- Hôpital mère enfant de Blida
- Hôpital mère enfant de Tipaza.
- Etablissement hospitalier spécialisé d'Oran.

### **3.4 Période de l'étude**

Le recrutement de l'échantillon s'est déroulé du mois de Décembre 2023 au mois de Février 2025.

### 3.5 Population d'étude

La population algérienne est une population nord-africaine estimée à plus de 47 millions d'habitants au 1er janvier 2025 selon l'Office National des Statistiques, avec un sex-ratio de 1,03. Cette population, répartie sur 68 wilayas, reste concentrée dans le nord du pays.

Les origines ethniques de la population algérienne sont essentiellement de souches berbères et arabes. On trouve également des traces génétiques de populations subsahariennes, notamment dans le sud du pays.

L'échantillon de notre étude est constitué d'enfants algériens âgés de 12 à 18 ans des deux sexes.

#### 3.5.1 Les critères d'inclusion

- Être âgé de 12 à 18 ans.
- Être inscrit sur les registres d'état civil.
- Être de parents d'origine Algérienne.
- Avoir vécu en Algérie depuis la naissance.

#### 3.5.2 Les critères de non-inclusion

- Avoir une pathologie chronique.
- Présenter un retard de croissance.
- Présenter une modification de l'architecture structurale de la main et du poignet.

#### 3.5.3 Echantillonnage :

La taille de l'échantillon est calculée selon la formule suivante :

$$n = Z^2 \cdot p \cdot (1-p) / m^2$$

n= taille de l'échantillon

z= niveau de confiance, intervalle de confiance IC= 95% z= 1,96

p= proportion de la population qui présente les mêmes caractéristiques en question en l'occurrence les critères d'inclusion, elle est de 25% donc p= 0,25 selon l'office national des statistiques Algérien.

M= la marge d'erreur tolérée à 5% près.

$$N = (1,96)^2 \cdot (0,25) \cdot (1-0,25) / (0,05)^2 = 288 \text{ (c'est la taille minimale de notre échantillon)}$$

### 3.6 Éthique

La présente étude a été faite dans le respect des règles de confidentialité et de l'intégrité corporelle des personnes.

Le consentement de l'autorité parentale ainsi que celui des participants ont été obtenus après les avoir bien informés et éclairés sur les fins de cette étude.

L'anonymat de l'identité a été aussi respecté et l'étude a été subordonnée à l'aval du conseil scientifique de la faculté de médecine de Constantine, ainsi que les organes scientifiques du ministère de la défense nationale.

### 3.7 Définition des variables étudiées

Les variables principales de cette étude comprennent le sexe l'âge chronologique, l'âge osseux, on a ajouté à ces variables d'autres variables qui leur dépendent directement à savoir : la différence entre les deux (âge osseux - âge chronologique), les classes d'âge, les classes de différence d'âge. D'autres variables ont été utilisées pour évaluer leurs impacts sur la maturation osseuse tel que le statut socio-économique (SSE), l'origine géographique et l'indice de masse corporelle (IMC).

- **Age chronologique** : L'âge chronologique correspond au temps écoulé depuis la naissance de l'individu jusqu'à la date de l'examen. Il est exprimé en années et mois. Il s'agit d'une mesure objective, obtenue à partir de la date de naissance et de la date d'évaluation [10].
- **L'âge osseux** : correspond au stade de maturation du squelette. Sa détermination est basée sur l'analyse de l'activité des cartilages de conjugaison, visible sur les épiphyses. Il peut différer de l'âge chronologique selon divers facteurs tels que le sexe, l'état nutritionnel ou les conditions pathologiques [147].
- **La différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique AO-AC** : cette variable a été utilisée pour bien décrire et analyser statistiquement les différences qui existent entre l'effectif de notre la population en fonction des autres variables.
- **Classe d'âge** : Deux groupes d'âge ont été créés pour les analyses statistiques ([12-15[- [15-18]) ; en fonction du développement osseux observé et de l'importance de la classe d'âge sur le plan médico-légal.

- **statut socio-économique :** Le statut socio-économique (SSE) désigne la position sociale d'un individu ou d'un ménage dans une hiérarchie sociale, basée sur une combinaison de critères tels que **les revenus, le niveau d'éducation, et la profession** [148]. Les enfants issus de familles à faible statut socioéconomique sont plus susceptibles d'avoir un retard de croissance et un développement neurocomportemental inadéquat in utero [149].

Trois classes du SSE ont été distinguées dans notre échantillon : un SSE élevé, un SSE moyen et un SSE bas selon les trois critères suscités.

Le SSE élevé se caractérise par des revenus élevés et stables, un niveau d'éducation universitaire et des conditions de vie confortables, tandis que le SSE moyen se distingue par des revenus moyens, un niveau d'éducation intermédiaire, un emploi stable, qualifié ou semi-qualifié. Le SSE faible se caractérise par des revenus faibles et instables, un niveau d'éducation bas et un emploi précaire [149].

- **Origine géographique :** L'origine géographique est définie par rapport à la localisation géographique du lieu de naissance ou de résidence de l'individu, et peut inclure des facteurs environnementaux, culturels ou ethniques propres à une région donnée [150]. Elle est utilisée pour analyser les disparités de développement osseux entre différents groupes de notre population d'études selon les autres variables.
- **Indice de masse corporelle :**

L'indice de masse corporelle (IMC) est une mesure anthropométrique utilisée pour évaluer la corpulence d'un individu [151]. Il est calculé en divisant le poids (en kilogrammes) par le carré de la taille (en mètres), selon la formule suivante :

$$IMC = \frac{Poids (kg)}{Taille (m)^2}$$

La définition de l'excès ou l'insuffisance de poids chez l'enfant utilisée dans cette étude est celle de l'OMS, un IMC exprimé en z-score en fonction du sexe.

$$Z = \frac{(IMC/M)^L - 1}{L \times S}$$

L : puissance Box-Cox pour la transformation à la loi normale ; M : médiane (50e percentile) ; S : coefficient de variation

L'interprétation des résultats du Z-score selon les données de l'OMS [152] est comme suit :

Maigreur sévère avec un  $Z < -3$ , Maigreur  $Z < -2$ , Poids normal,  $-2 \leq Z \leq +1$ , Surpoids  $Z > +1$   
Obésité  $Z > +2$ , Obésité sévère  $Z > +3$ .

Dans notre étude nous avons observé quatre catégories de Z-score de l'IMC qui sont : un groupe avec un poids normal avec un Z-score compris entre  $[-2, 1]$ , un 2<sup>ème</sup> groupe qui représente les enfants maigres avec un Z-score  $< -2$ , un 3<sup>ème</sup> groupe avec un Z-score  $> 1$  correspondant aux enfants avec un surpoids et le 4<sup>ème</sup> groupe des obèses avec un Z-score  $> 2$

### **3.8 Méthode**

La méthode d'évaluation d'âge osseux par l'Atlas de Greulich et Pyle est la plus utilisée à travers le monde [8, 9, 153-156]. Elle consiste à évaluer le degré de maturation des points d'ossification des os du carpe, des métacarpes, des phalanges, de l'extrémité inférieure du radius et de l'ulna sur une radiographie de face de bonne qualité, à taille réelle, du poignet et de la main gauches, puis à la comparer aux radiographies de l'atlas du même sexe afin de trouver celle dont l'aspect s'en approche le plus. L'âge est estimé séparément par sexe, dans des catégories allant jusqu'à 19 ans pour les garçons et 18 ans pour les filles.

#### **3.8.1 Modalités pratiques de l'étude**

L'étude consiste à l'évaluation de l'applicabilité de l'AGP à la population Algérienne âgée de 12 à 18 ans, échantillon de 258 d'adolescents algériens connus des deux sexes (142 garçons et 116 filles).

Cette étude a pour objectif principal d'évaluer la pertinence de l'application de l'Atlas selon l'âge et le sexe, avec un accent particulier sur la tranche d'âge 15-18 ans, critique par ses enjeux judiciaires ainsi qu'elle présente le terme de la maturité osseuse de la main et du poignet.

Ainsi une évaluation de l'impact des facteurs socio-économiques, géographiques et de l'indice de masse corporelle sur le développement osseux a été abordée.

##### **3.8.1.1 Recueil des données**

Une fiche de recueil des données est utilisée pour enregistrer les données biodémographiques de l'adolescent, notamment les données de l'état civil à savoir le nom le prénom, la date de naissance, l'origine régionale, la profession du père et de la mère, le lien de parenté entre les parents, le niveau socioéconomique, les antécédents pathologiques personnels et des parents, la dentition, le poids et la taille.

Puis chaque fiche a été numéroté de 1 à 258, correspondant à un cliché radiologique, soit au nombre de participants à l'étude.

### **3.8.1.2 Réalisation du cliché**

La réalisation du cliché est faite en respectant les règles techniques d'exécution d'un examen radiologique à savoir :

- Le patient est assis avec le bras, en abduction à 90°, et l'avant-bras, fléchi à 90°, reposant sur la table d'examen.
- La main et le poignet sont posés à plat, leur face palmaire sur la table

La réalisation du cliché :

- Le rayon directeur est vertical
- Le centrage s'effectue au niveau de l'articulation métacarpo-phalangienne du 3<sup>ème</sup> doigt avec écartement des doigts.
- La radiographie prend le poignet et la main au complet.
- Les clichés doivent comportés :
  - Le nom et le prénom du patient ainsi que son sexe et sa date de naissance.
  - La date de réalisation de l'examen.

### **3.8.1.3 La collecte et le traitement des clichés**

Une numérotation par ordre a été attribuée à chaque cliché avant sa lecture, suivant la numérotation des fiches soit de 1 à 258. Les données d'identification telles que le nom, le prénom et la date de naissance ont été supprimées du cliché, tandis que le sexe et la date de réalisation de l'examen radiologique ont été conservés.

### **3.8.1.4 La lecture des clichés**

#### **Orientation du cliché**

Le poignet doit être en position neutre, c'est-à-dire sans inclinaison ni rotation excessive.

Le cliché est placé comme suit : Les doigts sont dirigés vers le haut, donc la partie proximale ce qui se trouve vers le bas et la partie distale ce qui se trouve vers le haut.

Le pouce est toujours à droite, légèrement écarté des autres doigts. Une partie de l'avant-bras représenté par l'extrémité inférieure de radius et de l'ulna avec leur partie métaphysaire et quelques centimètres de leur diaphyse.

Les os du carpe (scaphoïde, lunatum, triquetrum, pisiforme, trapèze, trapézoïde, capitatum, hamatum) doivent être distinctement visibles et bien délimités.

L'axe du 3ème métacarpien doit être aligné avec l'axe du radius. La styloïde ulnaire doit être bien dégagée et dans le prolongement du bord interne de l'ulna.

Les interlignes articulaires entre les os du carpe et entre le carpe et le radius doivent être visibles et réguliers.

Les têtes des 2ème et 3ème métacarpiens doivent être superposées, et il ne doit pas y avoir de débordement entre le radius et l'ulna.

Les trois arcs de Gilula (formés par les contours supérieurs et inférieurs des os du carpe et le contour du capitatum et de l'hamatum) doivent être réguliers et continus.

La styloïde ulnaire doit être visible et bien définie, prolongeant le bord interne de l'ulna.

### **L'interprétation du cliché :**

Dans le cadre de notre procédure de lecture, il n'existe pas de méthode précise à suivre. Notre objectif est de trouver le cliché, sur l'Atlas de GP, le plus proche du nôtre tout en se référant à la description faite par Greulich et Pyle, et afin d'améliorer la précision de la lecture, notamment pour les radiographies présentant des discordances de maturation entre les différents os de la main, on a eu recours à l'analyse d'images de Cree Gaskin et al dans leur Atlas, Skeletal Development of the hand and wrist: a radiographic atlas and digital bone age companion, qui sont des images qui correspondaient étroitement aux détails du développement visibles sur les images standard de Greulich et Pyle et le texte qui les accompagnait [157].

Une fois cette correspondance établie, nous procédons à l'accord de l'âge osseux sur l'atlas.



Figure 34: âge osseux d'un garçon de 11 ans et 6 mois [157]

La surface dorsale distale du lunatum élargie au centre, formant une légère protubérance émoussée vers le capitatum. Les processus styloïdes des épiphyses cubitale et radiale sont désormais plus distincts. Dans l'ensemble, les os du carpe se sont élargis, les espaces entre eux ont diminué, et leur mise en forme réciproque a progressé [157].



Figure 35: âge osseux d'un garçon de 12 ans et 6 mois [157]

Les épiphyses des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> phalanges moyennes et les 3<sup>e</sup> à 5<sup>e</sup> phalanges proximales sont désormais aussi larges que leurs métaphyses. Dans l'ensemble, les os du carpe se sont élargis et leurs surfaces articulaires sont devenues plus distinctes. Ceci est particulièrement visible au niveau des articulations carpo-métacarpiennes [159].



Figure 36: âge osseux d'un garçon de 13 ans [159]

Les extrémités des épiphyses des phalanges distales de la 2<sup>ème</sup> à 5<sup>ème</sup> sont légèrement courbées vers l'extrémité distale et les parties trochléaires (distales) des phalanges moyennes adjacentes sont légèrement concaves. Les épiphyses des 2<sup>èmes</sup> à 5<sup>ème</sup> phalanges proximales ont des extrémités orientées vers l'extérieur au niveau de leurs bords radiaux lorsqu'elles commencent à recouvrir leurs diaphyses. L'ossification est désormais visible dans le sésamoïde du muscle adducteur du pouce. Les épiphyses des 2<sup>èmes</sup> à 5<sup>ème</sup> métacarpiens sont désormais aussi larges que leurs métaphyses [159].



Figure 37: âge osseux d'un garçon de 13 ans et 6 mois [159]

Les épiphyses des phalanges proximales et moyennes ont toutes commencé à recouvrir leurs tiges (c'est-à-dire qu'elles présentent de légères extrémités dirigées distalement au niveau de leurs bords radial et cubital). Toutes les épiphyses métacarpiennes sont clairement aussi larges que leurs diaphyses ; ces épiphyses et leurs diaphyses s'adaptent étroitement les unes aux autres au niveau de leurs plaques de croissance communes [159].



Figure 38: âge osseux d'un garçon de 14 ans [159]

Toutes les épiphyses des 2<sup>èmes</sup> à 5<sup>ème</sup> doigts, y compris celles des phalanges distales, ont commencé à recouvrir leurs tiges. Dans les phalanges proximales, le recouvrement est plus évident du côté radial. Les plaques de croissance cartilagineuses des métacarpes sont désormais uniformément étroites. Certaines parties des bords osseux qui les entourent sont devenues moins distinctes.

L'épiphyse radiale a commencé à recouvrir sa diaphyse (c'est-à-dire que ses bords pointent vers la partie proximale) [159].



Figure 39: âge osseux d'un garçon de 15 ans [159]

La fusion a commencé au niveau des épiphyses de toutes les phalanges distales. Une fusion du tiers dorsal/radial du premier métacarpien. L'épiphyse radiale a recouvert son corps (c'est-à-dire que ses bords pointent vers la partie proximale) [159].



Figure 40: âge osseux d'un garçon de 15 ans et 6 mois [159]

La fusion est complète dans toutes les phalanges distales. Elle est sur le point de commencer dans les parties distales des 2<sup>e</sup> à 5<sup>e</sup> métacarpiens. Cette norme représente le degré de maturité squelettique atteint par la plupart des garçons à la puberté. Elle est comparable à la norme féminine de 13 ans et 6 mois, qui représente le degré de maturité squelettique atteint par la plupart des filles à la ménarche. Le premier métacarpien épiphyse a fusionné avec sa diaphyse [159].



Figure 41: âge osseux d'un garçon de 16 ans [159]

La fusion est avancée dans toutes les phalanges proximales ainsi que dans les 2<sup>èmes</sup> et 5<sup>ème</sup> phalanges moyennes. Elle a commencé dans les 3<sup>èmes</sup> et 4<sup>ème</sup> phalanges moyennes. Les épiphyses des 2<sup>èmes</sup> à 5<sup>ème</sup> métacarpiens ont commencé à fusionner [159].



Figure 42: âge osseux d'un garçon de 17 ans [159]

Toutes les épiphyses phalangiennes ont fusionné avec leurs diaphyses. Les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> épiphyses phalangiennes moyennes sont souvent les dernières à fusionner. La fusion des épiphyses du 2<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> métacarpien est terminée. L'épaisseur du cartilage de croissance radial a diminué en prévision de la fusion. La fusion a commencé au niveau du cartilage de croissance cubital.



Figure 43: âge osseux d'un garçon de 18 ans [159]

Des lignes blanches verticales sur les têtes des 2<sup>ème</sup> 5<sup>ème</sup> métacarpiens délimitent certaines parties de leur surface palmaire. Avant la fusion, ces lignes sont interrompues par les plaques de croissance. Ces lignes deviennent continues avec la diaphyse à mesure que la fusion se produit. Ce processus est généralement plus avancé du côté cubital. Toutes les épiphyses, à l'exception de celle du radius, ont achevé leur fusion avec leur diaphyse respective. Ce processus est presque achevé dans le radius[159] .



Figure 44: âge osseux d'un garçon de 19 ans [159]

L'épiphyse radiale est désormais complètement fusionnée avec sa diaphyse, achevant ainsi la maturation squelettique de la main et du poignet. La ligne épiphysaire du radius n'est désormais que faiblement visible. Elle peut disparaître complètement ou persister à l'âge adulte [159].



Figure 45: âge osseux d'une fille de 12 ans [159]

Toutes les plaques de croissance cartilagineuses ont atteint leur épaisseur finale avant le début de la fusion épiphysio-diaphysaire. Toutes les surfaces articulaires carpiennes sont bien définies à ce stade. Le processus styloïde cubital s'est élargi. L'épiphyse radiale recouvre désormais la diaphyse et sa surface cubitale s'est aplatie [159].



*Figure 46: âge osseux d'une fille de 13 ans [159]*

L'épaisseur de toutes les plaques de croissance a été considérablement réduite ; cela est moins évident au niveau du radius et du cubitus. La fusion de l'épiphyse et de la diaphyse a commencé dans la phalange distale du pouce. Les carpes ont toutes atteint leur forme adulte.



*Figure 47: âge osseux d'une fille de 13 ans et 6 mois [159]*

Les épiphyses de toutes les phalanges distales ont fusionné. La fusion épiphysaire a commencé dans les 3<sup>èmes</sup> à 5<sup>èmes</sup> phalanges proximales. Cette norme représente le développement squelettique typique à l'approche de la ménarche ; elle est similaire à la norme pour les garçons de 15 ans et 6 mois, qui correspond à la puberté masculine. La fusion épiphysaire a commencé dans le 1er métacarpien [159].



Figure 48: âge osseux d'une fille de 14 ans [159]

La fusion est avancée dans les 3<sup>èmes</sup> et 4<sup>èmes</sup> phalanges moyennes. La fusion est presque complète dans les 2<sup>èmes</sup> et 4<sup>èmes</sup> phalanges proximales. La fusion épiphysaire est presque complète dans la 2e phalange moyenne. La fusion est complète dans la 5e phalange proximale et au niveau du 1<sup>er</sup> métacarpien et de la phalange proximale du 1<sup>er</sup> doigt [159].



Figure 49 : âge osseux d'une fille de 15 ans [159]

La fusion s'achève d'abord dans les phalanges distales, puis dans les phalanges proximales, et enfin dans les phalanges moyennes. Elle est presque terminée au niveau des phalanges moyennes. Elle est complète dans toutes les phalanges proximales et les lignes de fusion sont presque effacées. La fusion épiphysaire radiale et cubitale a commencé ; le cubitus est plus avancé que le radius [159].



*Figure 50: âge osseux d'une fille de 16 ans [159]*

L'épiphyse cubitale est fusionnée, sauf près de la base du processus styloïde. L'épiphyse radiale s'est soudée, sauf le long de la périphérie [159].



*Figure 51: âge osseux d'une fille de 17 ans [159]*

Les lignes épiphysaires sont presque complètement effacées dans les phalanges moyennes.

La fusion épiphysaire est complète au niveau du radius et du cubitus [159].



Figure 52: âge osseux d'une fille de 18 ans [159]

Cette main est indiscernable de celle d'un adulte. Des traces de certaines lignes épiphysaires de fusion peuvent persister tout au long de la vie, en particulier au niveau du radius et du premier métacarpien [159].

#### ***3.8.1.5 Évaluation de l'échantillon***

Deux lectures ont été réalisées par l'auteur et une par un autre observateur, (orthopédiste), pour le test inter observateur. Chaque évaluation a été transcrite sur une fiche séparée, tout en respectant l'anonymat, puis reproduite sur un fichier SPSS.

#### ***3.8.1.6 Première évaluation :***

Tous les clichés ont été lus par l'auteur, dans la limite de 25 radiographies par jour, afin d'éviter toute fatigue pouvant impacter la qualité de l'interprétation. Les données ont été transcrites une fiche dédiée à la première évaluation, qui porte le même numéro du cliché donc le même numéro de la première fiche.

#### ***3.8.1.7 Evaluations pour le test inter observateur***

Un médecin spécialiste en orthopédie a participé à l'évaluation pour le test inter observateur. Il a interprété tous les clichés, tout en respectant l'anonymat et les règles de la randomisation en double aveugle.

#### ***3.8.1.8 Evaluations pour le test intra observateur***

Une évaluation supplémentaire de la totalité de l'échantillon a été réalisée par l'auteur de l'étude. Les données des deux évaluations seront utilisées conjointement avec ceux de la première évaluation pour le test intra observateur. Un intervalle d'un mois entre les deux

évaluations a été respecté. Les données ont été transcrites sur les fiches séparées portant la même numérotation des clichés radiologiques et des fiches de recueil, tout en respectant l'anonymat et les règles de la randomisation en double aveugle.

### **3.9 Saisie des données et analyse statistique**

La saisie et l'analyse des données ont été réalisées sur logiciel SPSS (SPSS Statistics, IBM, version 26).

L'analyse des données a été faite en fonction de la nature des variables, contenues dans les fiches de recueil des données. Les tests d'hypothèses ont été réalisés avec un risque alpha ( $\alpha$ ) fixé à 5 %.

Des statistiques descriptives ont été utilisées pour décrire les caractéristiques démographiques de l'échantillon, avec détermination des moyennes, Médiane, écarts types et les interquartiles.

Un test de normalité Kolmogorov Smirnov a été fait pour déterminer la normalité ou non de la distribution des variables étudiées à savoir l'âge osseux (AO) et l'âge chronologique (AC).

Une analyse de la corrélation entre l'AC et l'AO a été réalisée par le test de corrélation de Spearman.

Une analyse de la différence entre l'AO et l'AC par âge et par sexe a été réalisée. Des classes de différence AO-AC ont été créées pour bien analyser la distribution de l'effectif selon ces classes.

La différence AO-AC a été analysée par le test de Wilcoxon des rangs signés, selon le sexe et selon les classes d'âge.

Une analyse de l'erreur absolue, qui représente la différence AO-AC sans tenir compte du signe de la différence, par le test de Mann Whitney a été réalisée, pour évaluer la concordance entre l'AO et l'AC, entre les deux sexes et entre les deux classes d'âge.

Une analyse de l'écart entre l'AO et l'AC a été faite, pour évaluer le sens de la différence.

Une régression linéaire a été faite pour modéliser l'âge osseux en fonction de l'âge chronologique pour cette catégorie d'âge.

Une analyse statistique de l'impact des facteurs socio-économiques, géographiques et l'IMC sur la maturation osseuse a été réalisée par le test de Kruskal Wallis.

A la fin une analyse de reproductibilité intra et inter observateur a été réalisée par le coefficient de corrélation intra-classe.

CHHAPITRE 4

RESULTAS

## 4 RESULTATS

### 4.1 Population de l'étude

Le nombre total de notre échantillon était de 258 individus âgés entre 12 et 18 ans.

#### 4.1.1 Répartition selon le sexe

La répartition de notre échantillon selon le sexe est présentée au Tableau 4 :

Tableau 4 : Répartition de l'échantillon selon le sexe

Sexe	Effectif	Pourcentage
Masculin	142	55%
Féminin	116	45%
<b>Total</b>	<b>258</b>	<b>100%</b>

L'échantillon d'étude était constitué de 258 enfants dont 142 garçons soit 55% et 116 filles soit 45%, avec un sexe-ratio de 1,22.

#### 4.1.2 Répartition selon l'âge

Les paramètres de distribution de l'âge de notre échantillon sont présentés au Tableau 5 :

Tableau 5 : Paramètres de distribution de l'âge de notre échantillon par sexe

Sexe	N	Age moyen	Ecart type	Médiane	Interquartiles
Masculin	142	14,74	1,47	14,5	13.5-16
Féminin	116	16,06	1,23	16	15.5-17
<b>Total</b>	<b>258</b>	<b>15,5</b>	<b>1,54</b>	<b>15,34</b>	<b>14-16.5</b>

La médiane de l'âge pour l'échantillon global était de 15,34 ans (14-16,5 ans), de 14,5 ans (13,5-16 ans) pour les garçons et de 16 ans (15,5-17 ans) pour les filles.

L'âge des individus était compris entre 12 et 18 ans pour les deux sexes, avec un âge moyen global de  $15,5 \pm 1,55$  ans. L'âge des individus masculins était compris entre 12 ans et 18 ans, avec un âge moyen de  $14,74 \pm 1,47$  et celui des individus féminins entre de 12 à 18 ans, avec un âge moyen de  $16,06 \pm 1,23$  ans

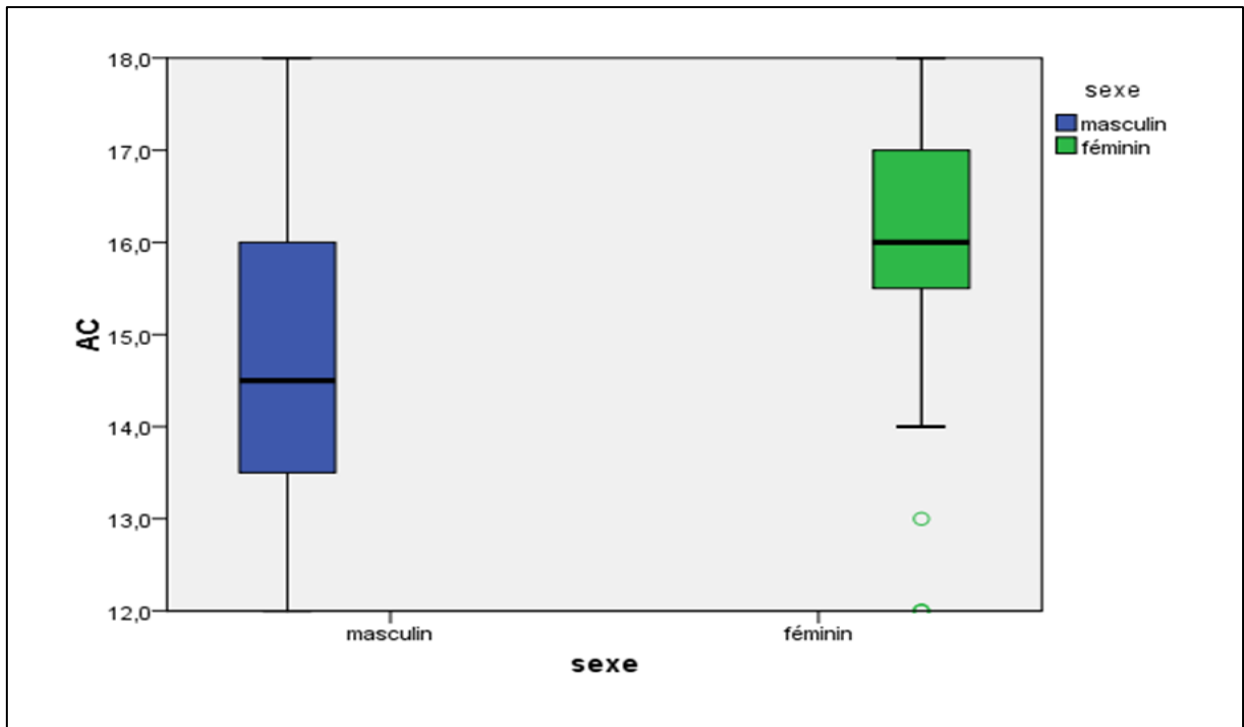


Figure 53: Description des moyennes d'âge par sexe.

### 4.1.3 Répartition de l'échantillon par classe d'âge

La répartition de l'échantillon par classe d'âge est représentée au tableau (Tableau 6)

Tableau 6: La répartition de l'échantillons par classe d'âge.

	Effectif	Pourcentage	Médiane	Interquartiles	Moyenne écart-type
[12-15[	92	35.70 %	14	13-14	13.60 ± 0.70
[15-18]	166	64.30 %	16	16-17	16.30 ± 0.92

Notre échantillon comprenait 92 enfants âgés de [12-15[soit 35.70 % de l'effectif global, avec une médiane de 14 ans (13-14) et une moyenne de  $13.60 \pm 0.70$  ans. 166 enfants appartenaient à la classe d'âge [15-18] soit 64.30% de l'effectif global, avec une médiane de 16 ans (16-17) et une moyenne d'âge de  $16.30 \pm 0.92$ .

### 4.1.4 Répartition de l'échantillons par classe d'âge et par sexe

La répartition de l'échantillon par classes d'âge et selon le sexe est représentée au (Tableau 7)

Tableau 7: la répartition de l'échantillon par classe d'âge et par sexe

		Effectif	Pourcentage	Médiane	Interquartiles	Moyenne ± écart-type
[12-15[	Garçons	82	31.80%	14	13-14	13.65 ± 0.65
	Filles	10	3.9%	14	12-14	13.30 ± 0.94
[15-18]	Garçons	60	23.25%	16	15.5-17	16.22 ± 0.92
	filles	106	41.05%	16	16-17	16.34 ± 0.92

La classe d'âge [12-15[comprenait 82 garçons avec une médiane de 14 ans (13-14) et une moyenne d'âge de  $13.65 \pm 0.65$  et 10 filles avec une médiane d'âge de 14 ans (12-14) et une moyenne d'âge de  $13.30 \pm 0.94$ . Quant à la classe d'âge [15-18] elle comprenait 60 garçons avec une médiane de 16 ans (15.5-17) et une moyenne de  $16.22 \pm 0.92$  et 106 filles avec une médiane de 16 ans (16-17) et une moyenne  $16.34 \pm 0.92$ .

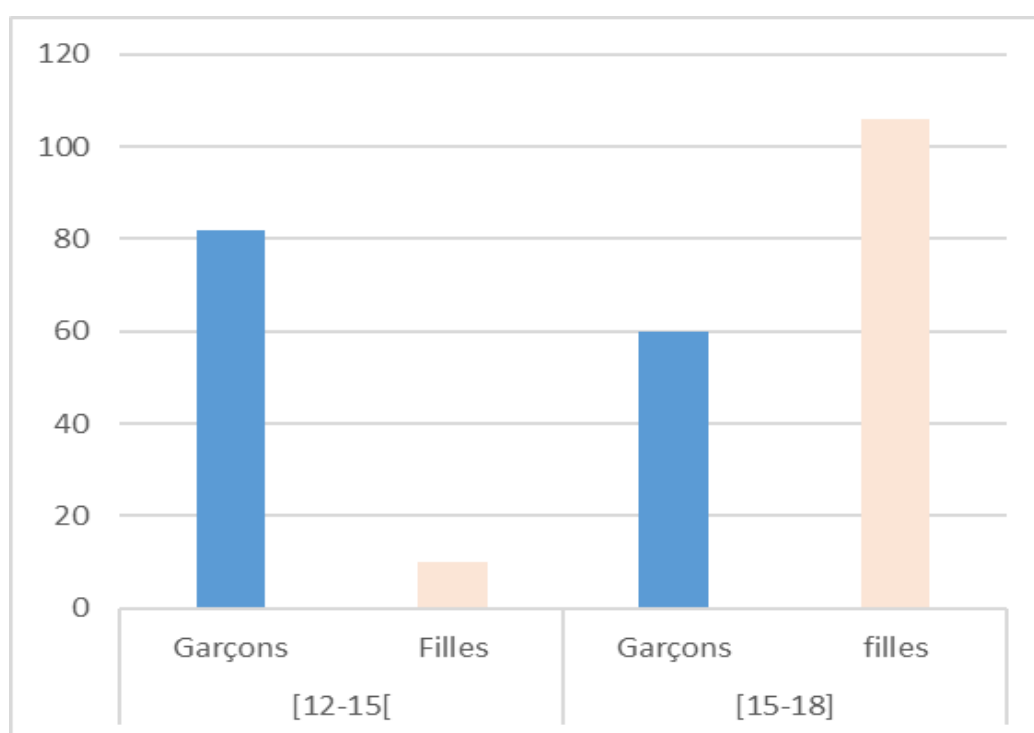


Figure 54: La répartition de l'échantillon par classe d'âge et selon le sexe.

#### 4.1.5 . Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique

La répartition de l'échantillon par origine géographique est représentée au (Tableau 8)

Tableau 8: La répartition de l'échantillon selon l'origine géographique dans l'échantillon global.

Origine géographique	Effectif	Pourcentage %
Centre	130	50,4%
Les hauts plateaux Région Naili	57	22,09%
Est	56	21,7%
Sud	4	1,6%
Ouest	2	0,8%
Valeurs Manquantes	9	3,41
Total	258	100%

L'analyse descriptive de la population étudiée révèle que la moitié des enfants proviennent du centre du pays, une proportion équivalente à 130 enfants. Un cinquième de l'échantillon est originaire de la région Naili et l'autre un cinquième de l'est.

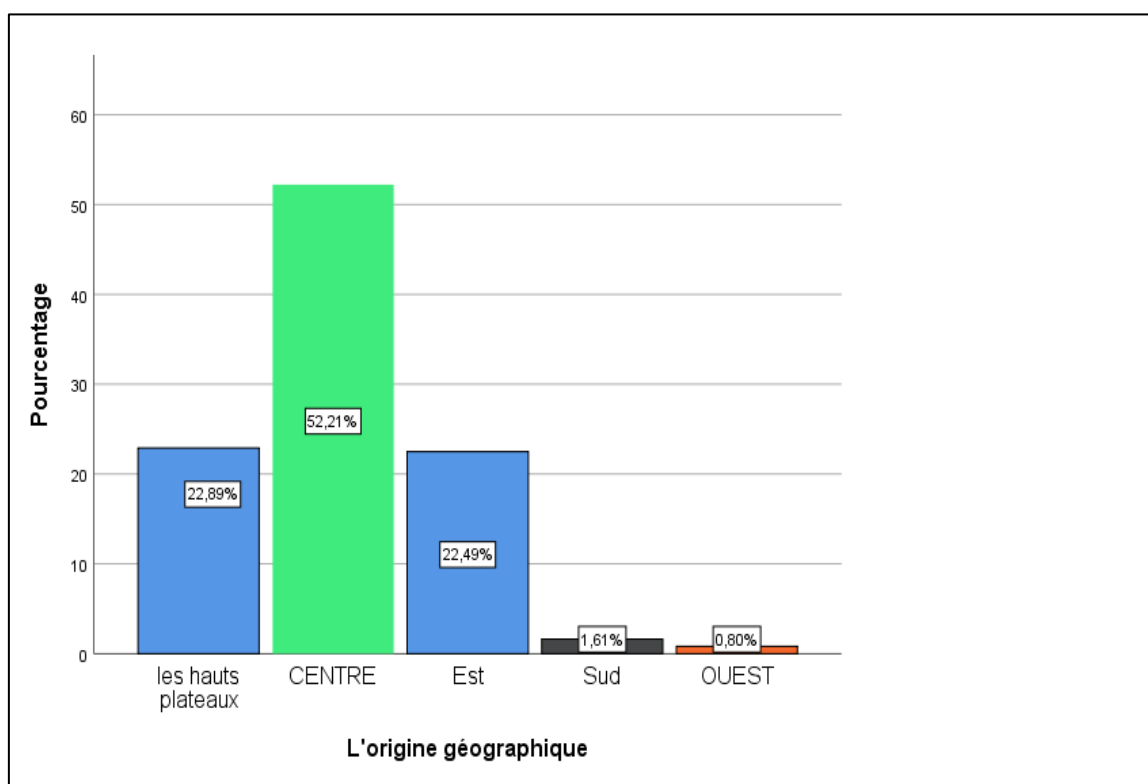


Figure 55: La répartition de l'échantillon selon l'origine géographique.

#### 4.1.6 Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par sexe

Ce graphe représente la répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par sexe.

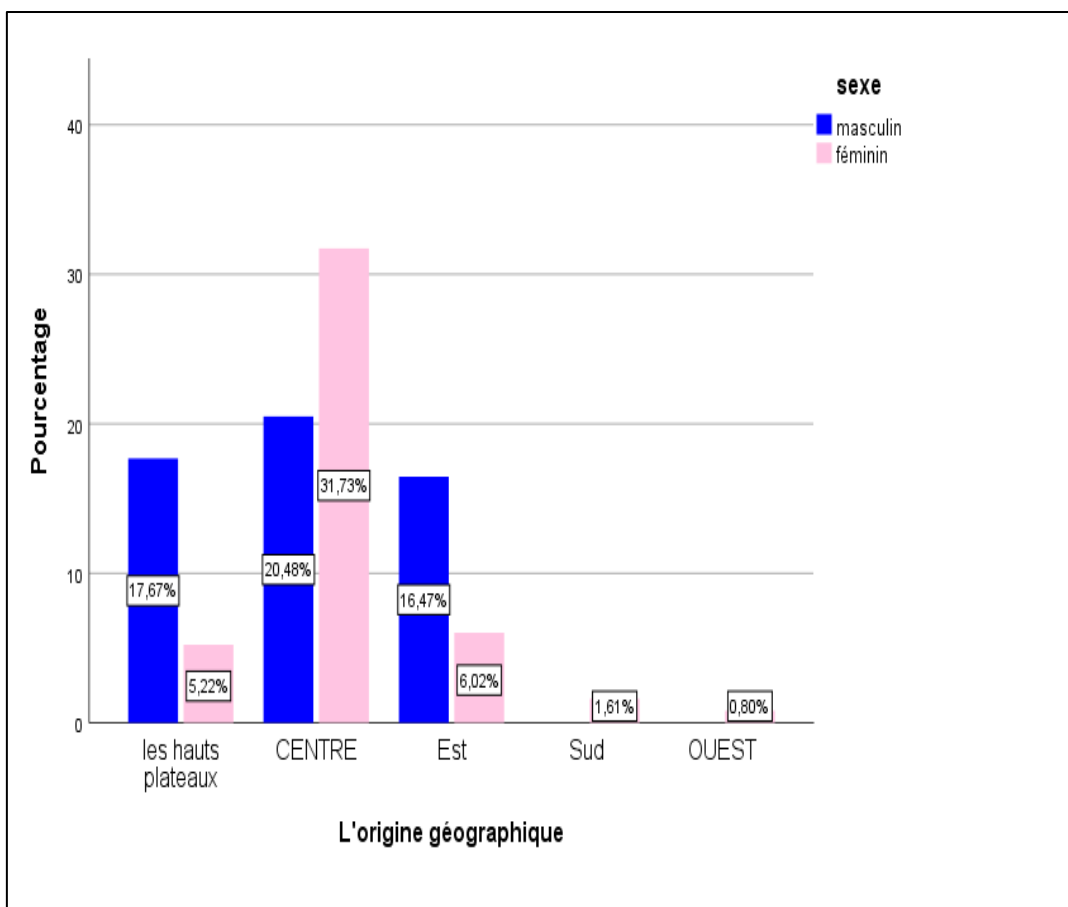


Figure 56: Histogramme de répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par sexe.

Cette figure nous montre que presque le tiers de notre échantillon sont des filles originaires du centre du pays. Les garçons sont harmonieusement répartis entre les hauts plateaux, le centre et l'est du pays.

#### 4.1.7 4.1.6 Répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par classe d'âge

La répartition de l'échantillon selon l'origine géographique et par classe d'âge est représentée dans cette figure :

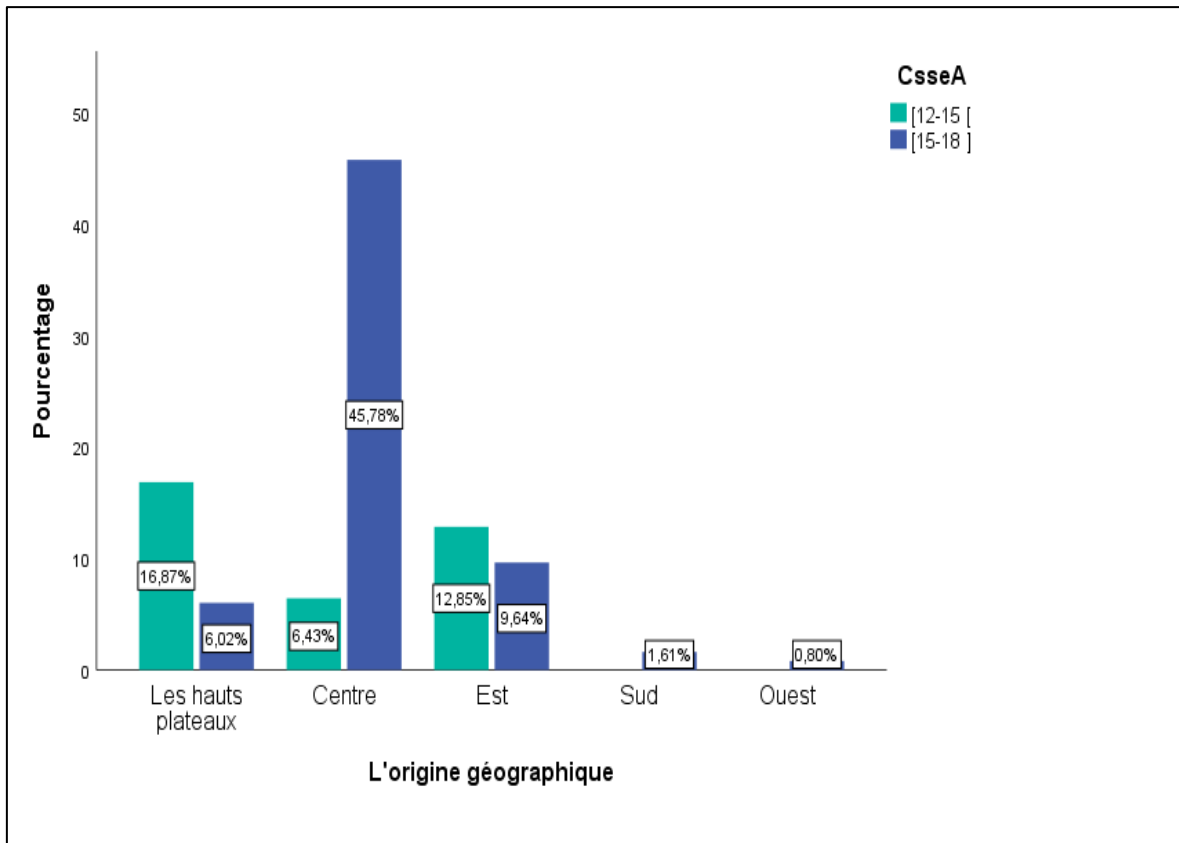


Figure 57: Histogramme de répartition de l'échantillon selon l'origine géographique par classe d'âge.

Presque la moitié des enfants âgés de 15 à 18 ans sont originaire du centre.

#### 4.1.8 Répartition de l'échantillon selon le statut socio-économique

La répartition de l'échantillon selon le statut socio-économique est représentée au (Tableau 9).

Tableau 9: La répartition de l'échantillon selon le niveau socio-économique.

Niveau socio-économique	Fréquence	Pourcentage %	Pourcentage % Valide
Moyen	211	81,8%	87,2%
Bas	19	7,4%	7,9%
Élevé	12	4,7%	5,0%
Valeurs Manquantes	16	6,3%	--
Total	258	100%	100,0%

On note que la majorité de l'échantillon étudié provient de la catégorie socio-économique moyenne, avec un pourcentage de 81,8 %, correspondant à 211 enfants. En deuxième

position, nous observons une faible proportion de 7,4 % d'enfants avec un niveau socio-économique bas soit 19 enfants. Enfin, nous notons un pourcentage de 4,7 % d'enfants appartenant à des milieux socio-économiques élevés.

#### 4.1.9 Répartition de l'échantillon selon le statut socio-économique par sexe

La répartition de l'échantillon selon le niveau socio-économique et par sexe est représentée dans la ( Figure 58)

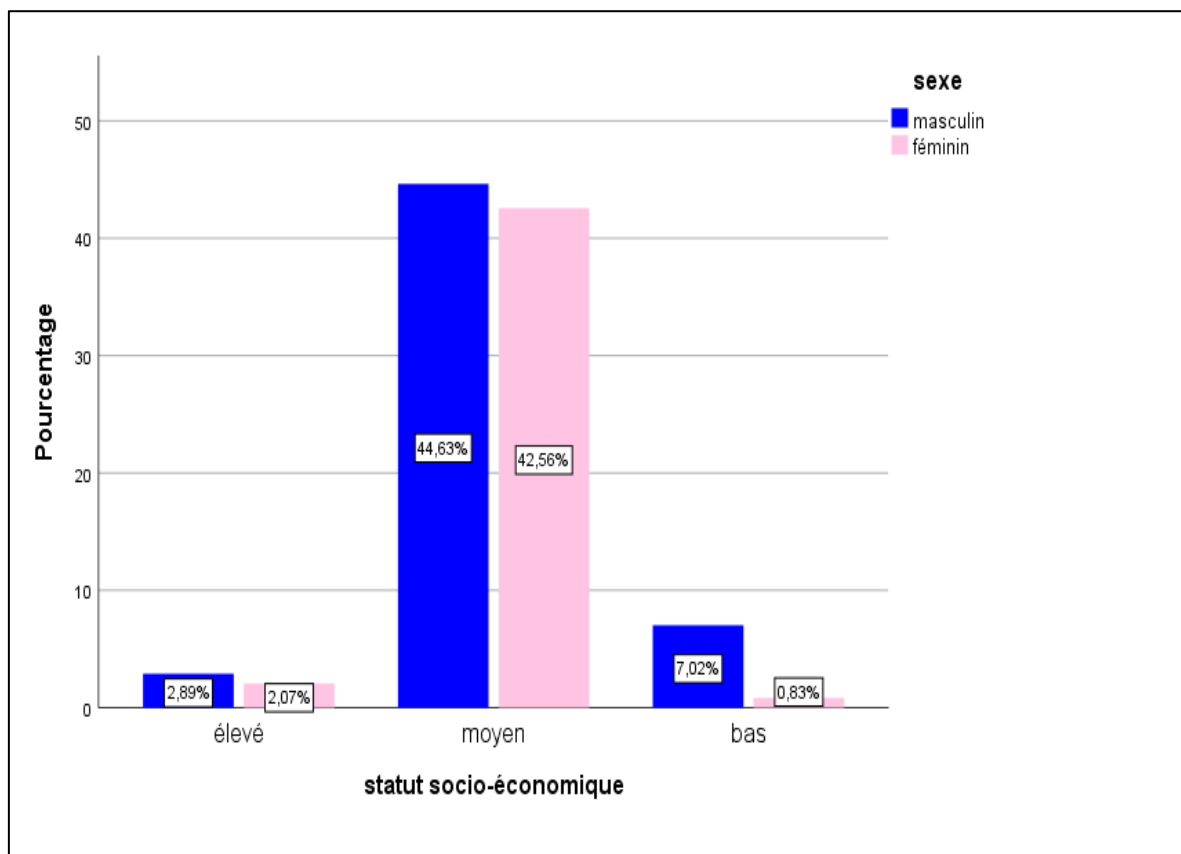


Figure 58: La répartition de l'échantillon selon le niveau socio-économique par sexe.

La majorité des garçons et des filles avaient un SSE moyen.

#### 4.1.10 Répartition de l'échantillon selon l'indice de masse corporelle (IMC)

La répartition de l'échantillon selon l'IMC est représentée au tableau (Tableau 10)

Tableau 10: La répartition de l'échantillon selon l'IMC

Effectif	Effectif	Garçons	Filles	Pourcentage %
Corpulence normale	180	105	75	69,76%
Maigreur	1	1	0	0,03%
Surpoids	34	16	18	13,17%
Obésité	2	01	01	0,07%
Valeurs manquantes	41	19	22	15,9%
Total	258	142	116	100,0%

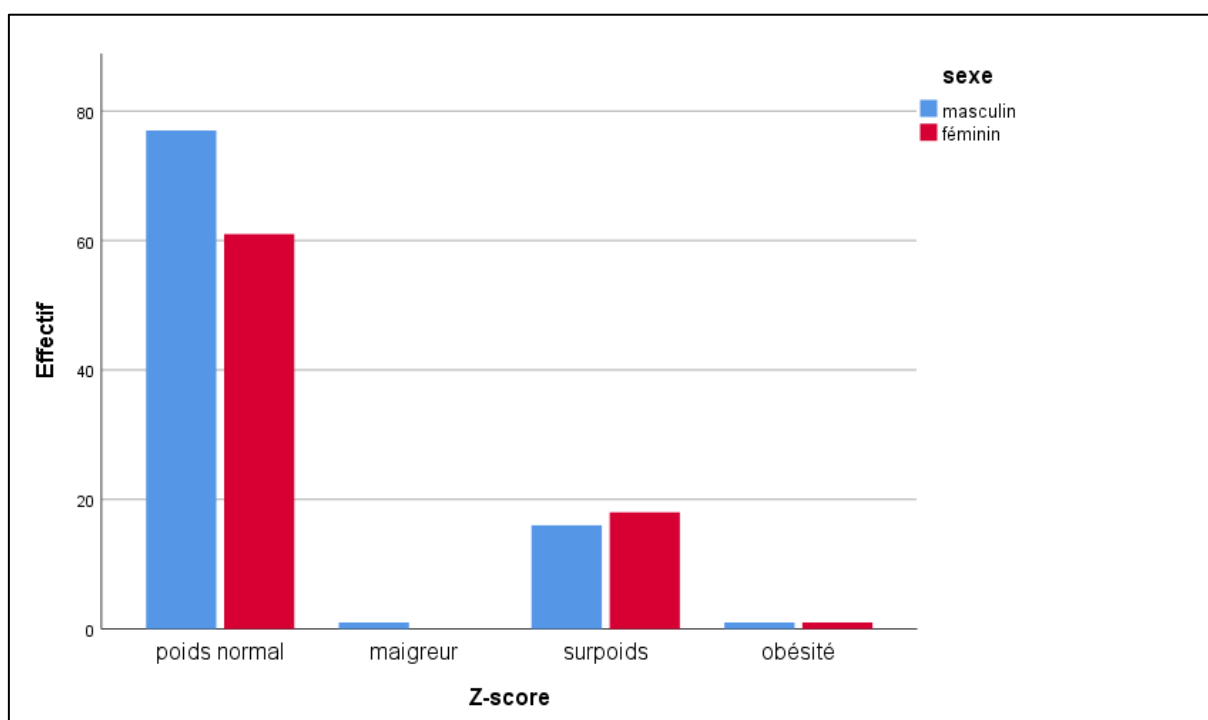


Figure 59: La répartition de l'échantillon selon Z-score l'IMC et par sexe

La majorité de l'effectif des deux sexes de notre échantillon avait un Z-score de l'IMC compris entre -2 et +1, correspondant à un poids normal, 13,17% de l'effectif avait un surpoids. Deux enfants soit 0,07% de notre population avaient un Z-score  $> +2$  qui signifie une obésité (Tableau 10). La répartition de l'échantillon selon le Z-score de l'IMC et par sexe est harmonieuse entre les garçons et les filles.

#### 4.1.11 Répartition selon le lieu du recrutement

La répartition selon le lieu du recrutement est représentée au tableau (Tableau 11)

Tableau 11: La répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement.

Etablissements de recrutements	Effectif	Pourcentage %
Ecole des cadets de Blida	154	59,7%
Ecole des cadets de M'sila	80	31,0%
Etablissements de santé publique	24	9,3%

Nous notons que 60% de notre population d'étude étaient recrutée au niveau de l'école des cadets de Blida, suivi de l'école des cadets de M'sila avec un pourcentage de 31% et 9.3% seulement ont été recrutés à partir des différents établissements de la santé publique.

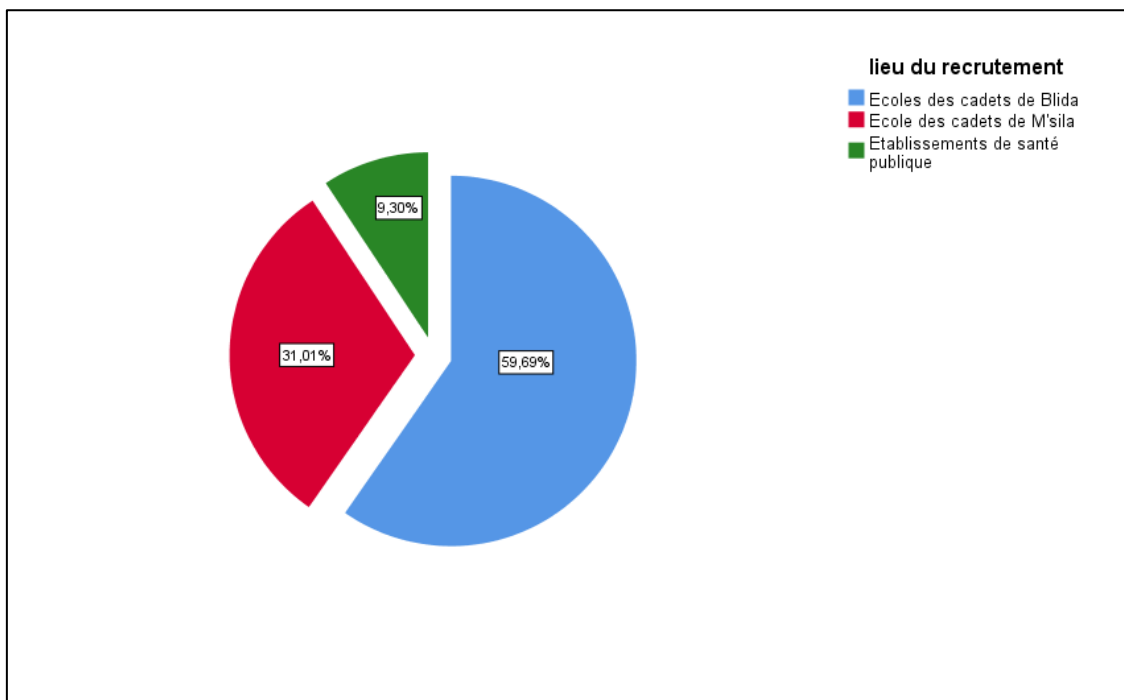


Figure 60: La répartition selon le lieu de recrutement

#### 4.1.12 Répartition selon le lieu du recrutement par sexe

La répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement par sexe est représentée dans la (Figure 61).

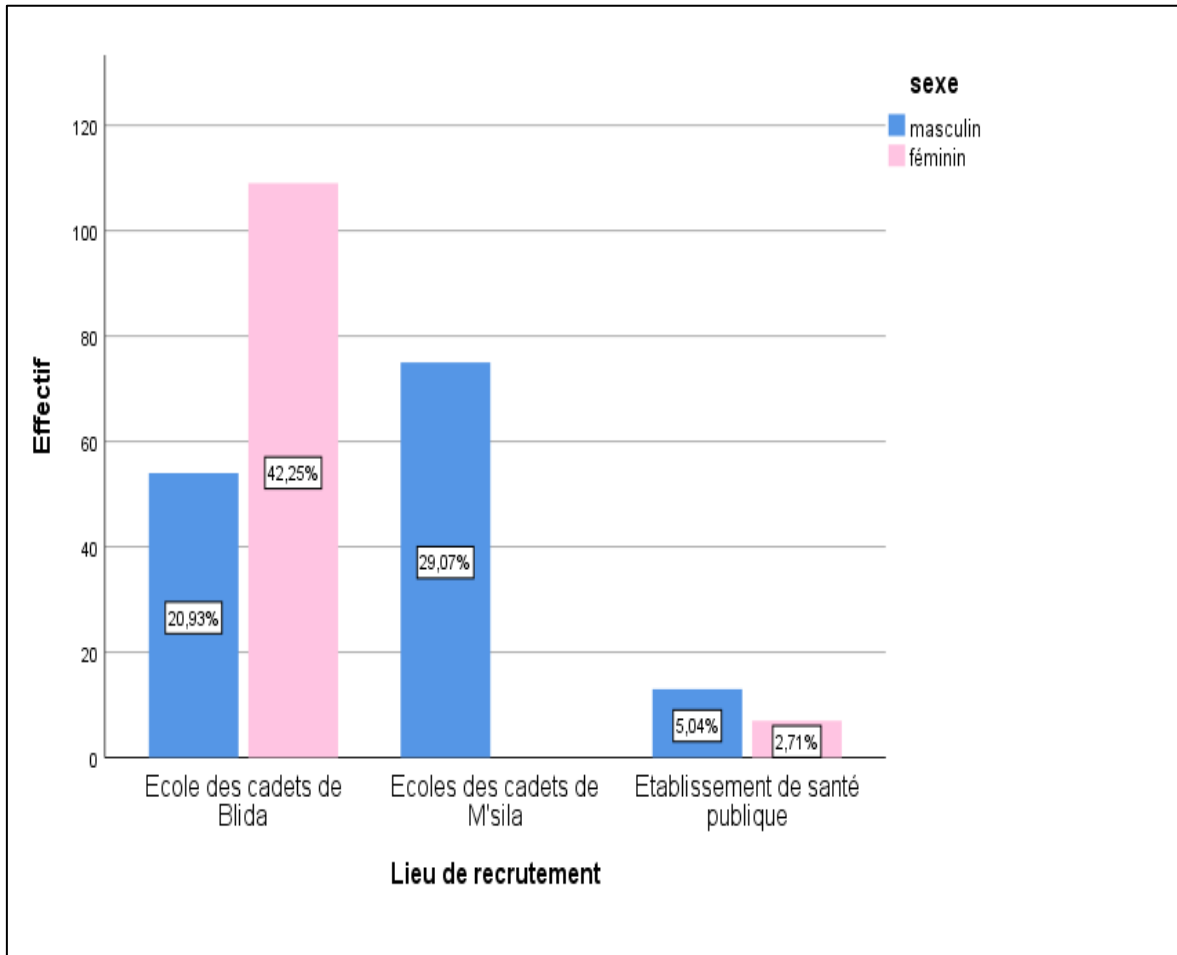


Figure 61 : La répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement par sexe.

La quasi-totalité des filles et la moitié des garçons ont été recrutés dans l'école des cadets de Blida, et plus de la moitié des garçons ont été recrutés dans l'école des cadets de M'sila, une minorité dans les différents établissements de santé publique.

#### 4.1.13 Répartition selon le lieu du recrutement par classe d'âge

Les résultats de la répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement par classe d'âge sont représentés dans la (Figure 62)

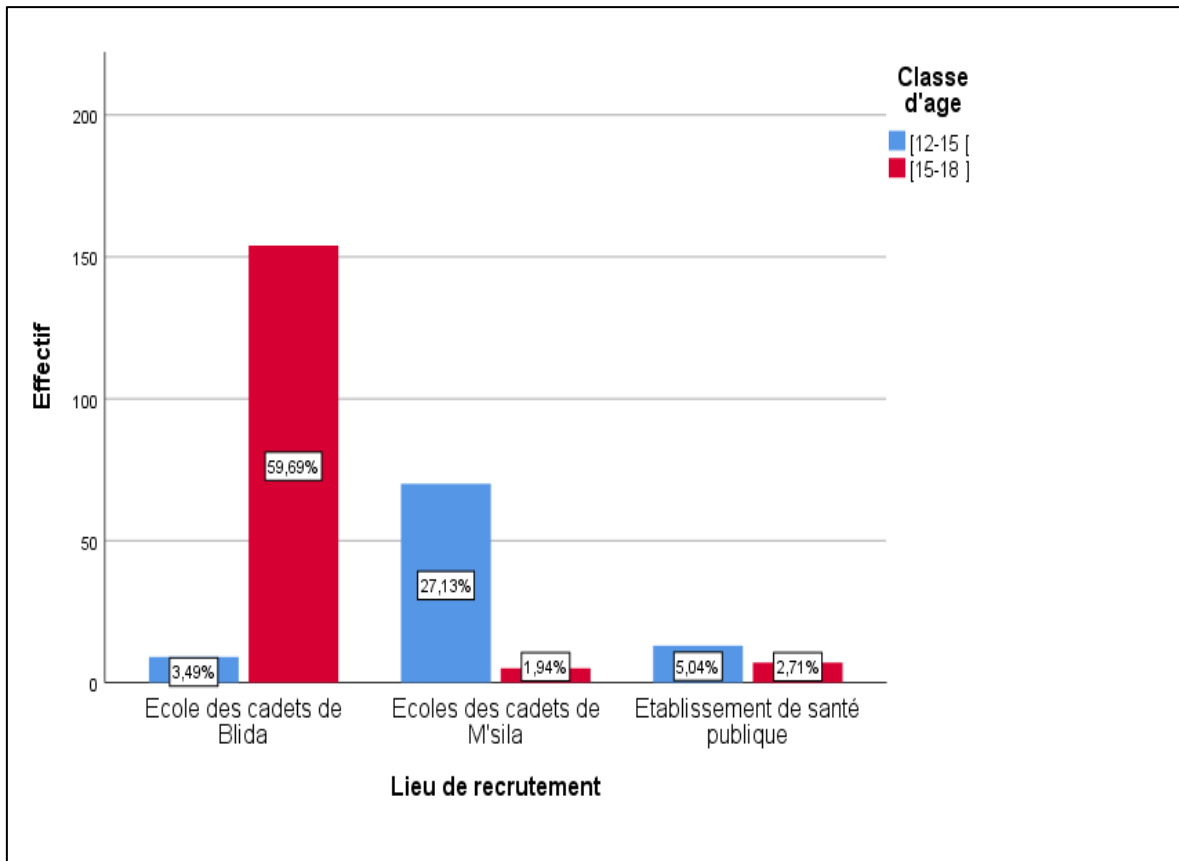


Figure 62 : Histogramme de la répartition de l'échantillon selon le lieu de recrutement et par classe d'âge

La quasi-totalité des enfants appartenant à la classe d'âge [15-18] ont été recrutés au niveau de l'école des cadets de Blida. la majorité des enfants âgés de ont été recrutés au niveau de l'école des cadets de M'sila.

## 4.2 Test de normalité

Le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov a été appliqué pour évaluer la distribution de l'âge squelettique estimé et de l'âge chronologique déclaré, à fin d'appliquer les divers tests paramétriques basés sur des hypothèses de normalité. Les résultats sont représentés au (Tableau 12)

Tableau 12: Les résultats des tests de normalité.

	N	Kolmogorov-Smirnov		Skewness	Kurtosis
Age osseux	258	0.20	p < 0.001	-0.43	-0.83
Age Chronologique	258	0.14	p < 0.001	-0.14	-0.80

Les tests de normalité ont été réalisés pour l'âge osseux et l'âge chronologique à l'aide du test de Kolmogorov–Smirnov (KS), complété par l'analyse des coefficients d'asymétrie (skewness) et d'aplatissement (kurtosis).

Pour les deux variables, le test de Kolmogorov–Smirnov est hautement significatif ( $p < 0.001$ ), indiquant un écart significatif par rapport à une distribution normale.

En plus, les coefficients d'asymétrie sont de  $-0,40$ , ce qui indique une légère asymétrie négative (distribution légèrement étalée vers la gauche), tandis que les coefficients de kurtosis sont de  $-0,80$ , indiquant une distribution plus aplatie que la normale.

Les valeurs d'asymétrie et de kurtosis sont modérées et ne traduisent pas une grande déviation, mais la significativité du test de KS confirme que les distributions de l'âge osseux et de l'âge chronologique ne peuvent être considérées comme normales dans cet échantillon.

L'ensemble de ces éléments justifie l'utilisation de tests statistiques non paramétriques pour l'analyse comparative et corrélative des variables.

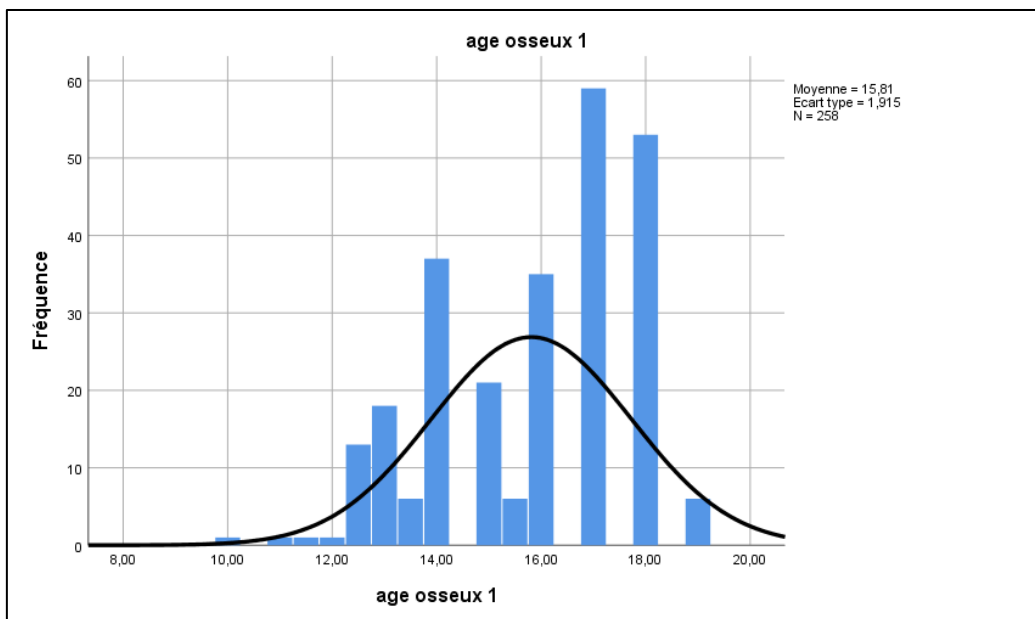


Figure 63: Graphe de distribution de l'âge osseux.

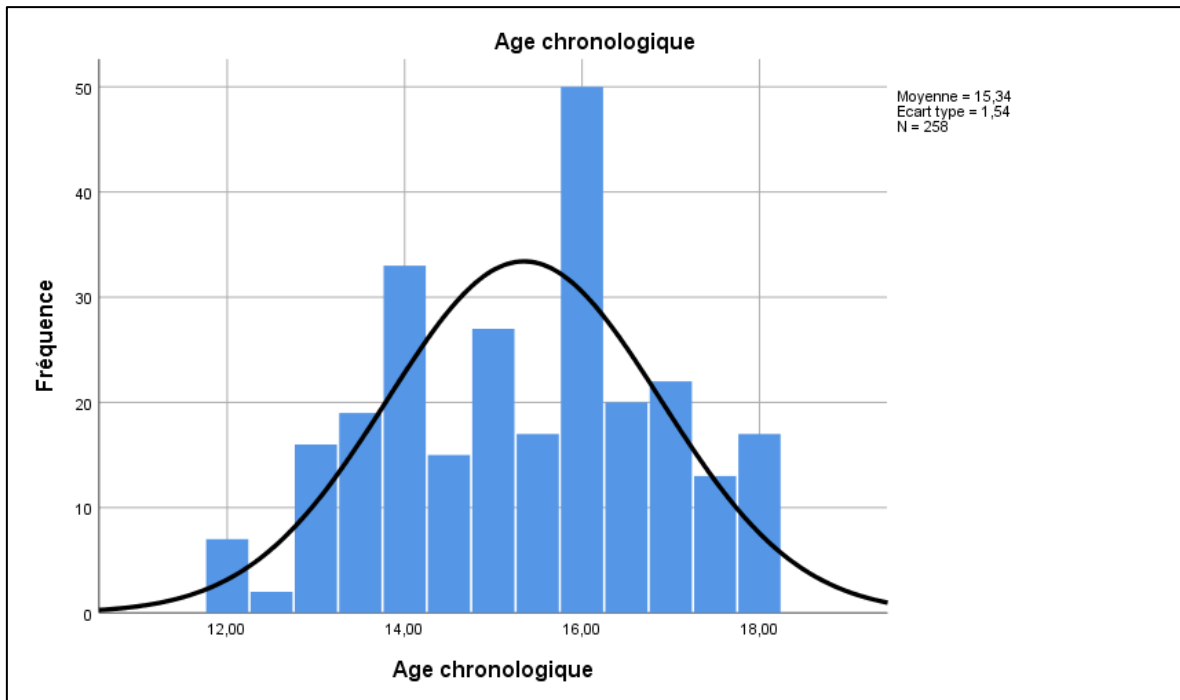


Figure 64: Graphe de distribution de l'âge chronologique.

L'histogramme montre une distribution modérément asymétrique vers la gauche, avec une forme aplatie par rapport à la courbe normale. Ces éléments confirment que la variable ne suit pas une distribution normale, comme l'indique également le test de Kolmogorov–Smirnov ( $p < 0,0001$ ).

### 4.3 Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global

Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon globale sont représentées au (Tableau 13)

Tableau 13: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global.

	Effectif	Min-Max	Médiane (P25 – P75)	Moyenne - Ecart type
AO	258	10 - 19	<b>16 (14 - 17)</b>	15.81 ± 1.92
AC	258	12 - 18	15.5 (14 – 16.5)	15.34 ± 1.54
Différence d'âge	258	-2 – 4	<b>0.5 (0.00 – 1.00)</b>	0.46 ± 0.95

Nous observons que la médiane de l'AO était de 16 (14 - 17), tandis que celle de l'AC était de 15.5 (14 – 16.5), avec une médiane de la différence entre les deux âges était de 0.5 (0.00 – 1.00) et une moyenne de  $0.46 \pm 0.95$ .

### 4.3.1 Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence selon le sexe

Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence par sexe sont représentées au (Tableau 14).

Tableau 14: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans l'échantillon global, par sexe

	N	Min-max	Médiane P 25-P75	Moyenne Ecart-type
<b>Masculin</b>				
AO	142	10,00 - 19,00	14.00 (13.50-17.00)	15.00 ± 1.97
AC	142	12.00 – 18.00	14.5 (13.50 – 16.00)	14.74 ± 1.48
Diff AO-AC	142	-2 – 4	0 (-0.5 _ 1.0)	0.26 ± 0.96
<b>Féminine</b>				
AO	116	11.00 – 18.00	<b>17 (16.00 – 18.00)</b>	16.19 ± 1.27
AC	116	12.00 – 18.00	16 (15.5 - 17.00)	16.08 ± 1.25
Diff AO-AC	116	-2.00 – 3.00	<b>0.5 (0.00 1.00)</b>	0.71 ± 0.87

Nous avons constaté que la médiane de l'AO chez les garçons était de 14,00 (13,50-17,00) avec une moyenne de  $15.00 \pm 1.97$  et chez les filles était de 17 (16.00 – 18.00) avec une moyenne de  $16,19 \pm 1,27$ . Nous avons également relevé que la médiane de l'AC chez les garçons était de 14,5 (13,50-16,00) et chez les filles était de 16 (15.5 - 17.00) avec une moyenne de  $16,08 \pm 1,25$ .

La médiane de la différence AO-AC chez les garçons était de 0 (-0,5-1,0) avec une moyenne de  $0.26 \pm 0.96$  et celle chez les filles était de 0,5 (0,00-1,00) et une moyenne de  $0.71 \pm 0.87$ .

### 4.3.2 Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [12-15[

Les statistiques descriptives de l'AO et l'AC et la différence AO-AC dans la classe d'âge [12-15[ sont présentées au (Tableau 15).

Tableau 15: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [12-15[.

	N	Min-max	Médiane (P25 – P75)	Moyenne - Ecart type
<b>MASCULIN</b>				
AO	82	10 - 17	14,00 (13-14)	13,68±1,10
AC	82	12,00 - 14,50	14 (13-14)	13,65±0,65
Diff	82	- 2 - 2,5	0,00 (-0,5 - +0,5)	0,030±0,84
<b>FEMININ</b>				
AO	10	11 - 16	<b>15 (13,125-15,25)</b>	14,25±1,65
AC	10	12 - 14	14 (12-14)	13,30±0,94
Diff	10	-1,00 - 2,00	<b>1,00 (+0,75 - +1,62)</b>	0,95±0,89

La médiane de l'AO des garçons appartenant à la classe d'âge [12-15[était de 14,00 (13-14), celle des filles de la même classe était de 15 (13,12 - 15,25).

Quant à la médiane de l'AC des garçons de cette classe d'âge était de 14 (13-14) et elle était de 14 (12-14) chez les filles.

La médiane de la différence AO-AC chez les garçons de la classe [12-15[était de 0.00 (-0,5 - +0,5) avec une moyenne de 0,030±0,84. Elle était de 1,00 (+0,75 - +1,625) chez les filles avec une moyenne de 0,95±0,89.

### 4.3.3 Les statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de leur différence dans la classe d'âge [15-18]

Les résultats des statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et de la différence AO-AC dans la classe d'âge [15-18] sont représentés au (Tableau 16).

Tableau 16: Statistiques descriptives de l'AO et de l'AC et leur différence dans la classe d'âge [15-18]

	N	Min- Max	Médiane (P25 – P75)	Moyenne- Ecart type
<b>MASCULLIN</b>				
AO	60	14 - 19	<b>17 (16-18)</b>	16,80 ±1,39
AC	60	15 -18	16 (15,5-17)	16,22 ± 0,92
Diff	60	-2 - 4	<b>0,50 (00 - 01)</b>	0,57 ± 1,03
<b>FEMININ</b>				
AO	106	15 -18	<b>17 (16-18)</b>	17,03 ± 0,93
AC	106	15 -18	16 (16-17)	16,34 ± 0,92
Diff	106	-2,00 -3,00	<b>0,50 (0-+01)</b>	0,69 ± 0,87

La médiane d'AO des garçons de la classe d'âge [15-18] était de 17 (16-18) et celle des filles de la même classe était de 17 (16-18), tandis que la médiane de l'AC des garçons de cette classe d'âge était de 16 (15,5-17) et celle des filles était de 16 (16-17). La médiane de la différence AO-AC des garçons de la classe d'âge était de ,50 (00 - 01) avec une moyenne de 0,57 ± 1,03 et de 0,50(0-+01) pour les filles avec une moyenne de 0,69 ± 0,87.

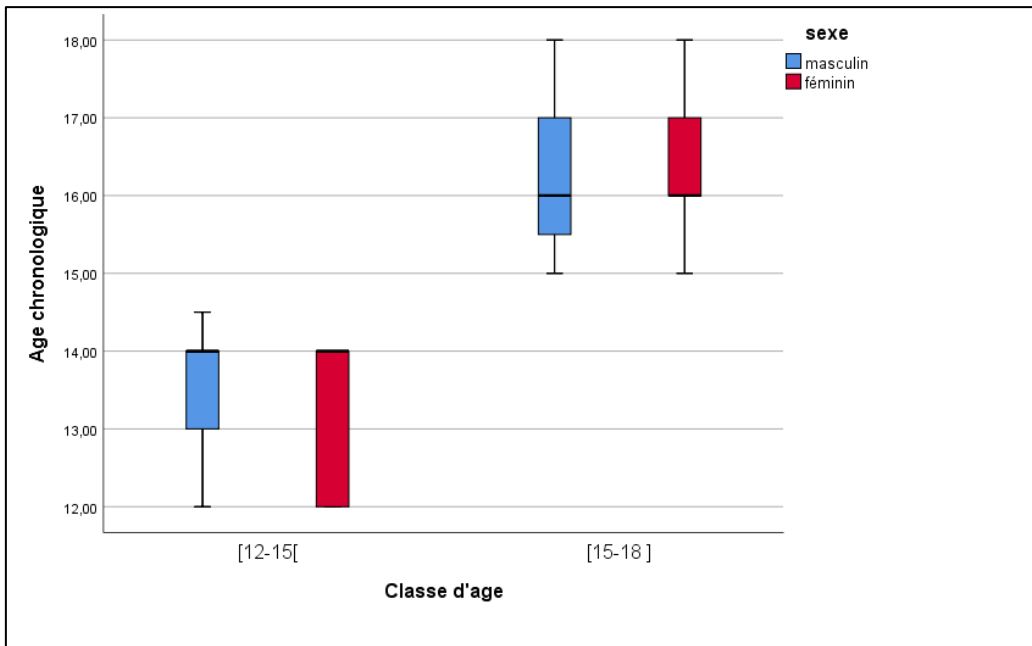


Figure 65: Dispersion de l'âge chronologique par sexe et par classe d'âge

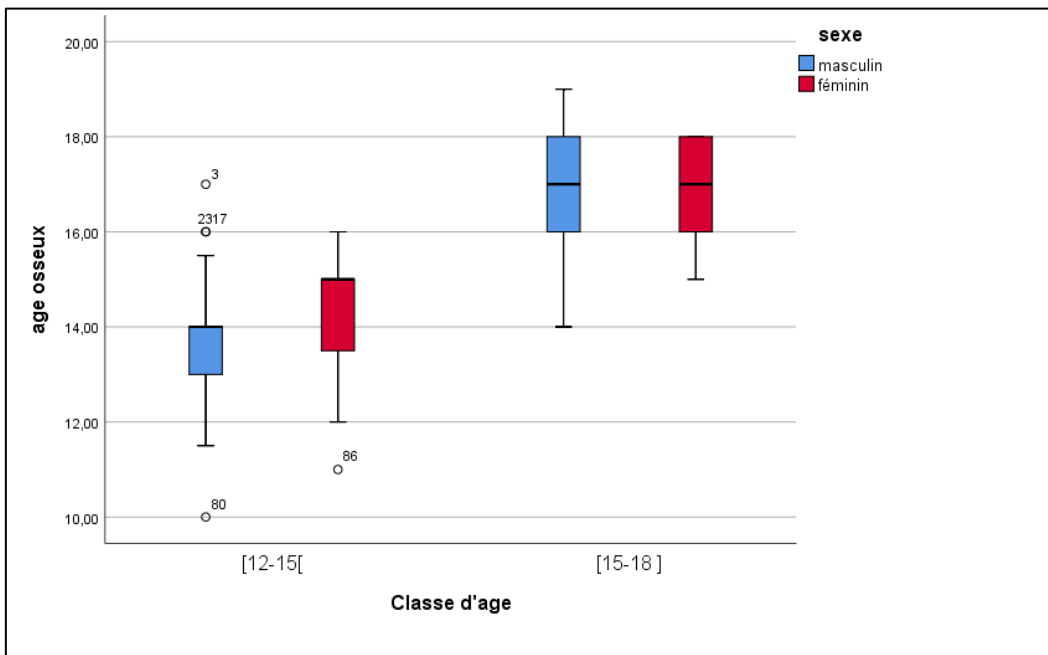


Figure 66: Dispersion de l'âge osseux par sexe et par classe d'âge

#### 4.4 La corrélation entre l'AC et l'AO dans l'échantillon globale

Les résultats de l'analyse statistique de corrélation entre l'AC et l'AO sont représentés au (Tableau 17).

Tableau 17: Analyse statistique de la corrélation entre l'âge chronologique et l'âge osseux par le test de Spearman.

		AC
	Coefficient de corrélation	0.86
AO	Signification (p)	0.001
	N	258

Le coefficient de corrélation de Spearman entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'ensemble de l'échantillon était de 0.86 avec  $p < 0.001$ .

##### 4.4.1 La corrélation entre l'AC et l'AO dans l'échantillon globale et par sexe

Les résultats de l'analyse statistique de corrélation entre l'AC et l'AO sont représentés au (Tableau 18).

Tableau 18: Les résultats de l'analyse statistique de corrélation entre l'AC et l'AO par le test de Spearman

Age chronologique		
	Corrélation de Spearman	0.88
Garçons	Signification (p)	0.001
Age	N	142
Osseux	Corrélation de Spearman	0.66
Filles	Signification (p)	0.001
	N	116

Le coefficient de corrélation de Spearman entre l'AO et l'AC était de 0.88 avec  $p < 0.001$  chez les garçons et de 0.66 avec  $p < 0.001$  chez les filles.

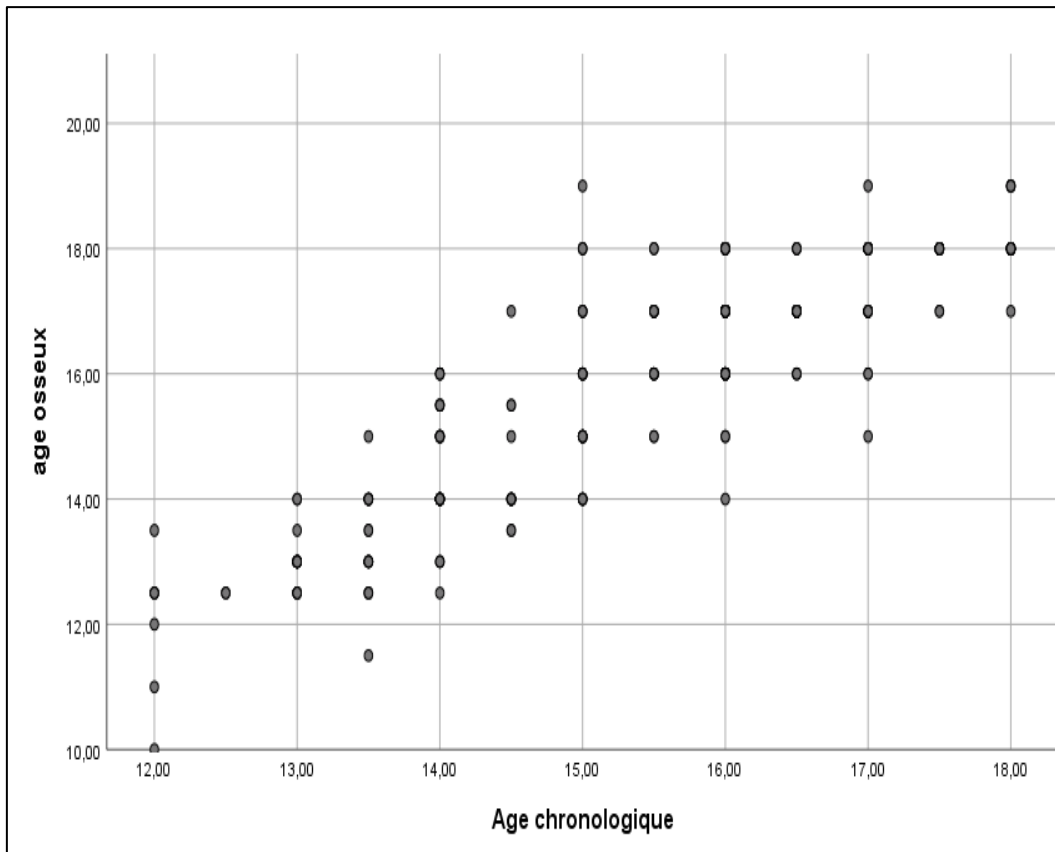


Figure 67: Diagramme de dispersion entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'échantillon globale.

Le graphe de dispersion (Figure 67) entre l'âge osseux et l'âge chronologique montrait une dispersion harmonieuse suivant une ligne ascendante.

#### 4.5 L'analyse descriptive de la différence AO-AC par âge

Pour analyser les différences entre l'AO et l'AC des classes d'écart ont été créés comme suit :

- La première classe : de -0,5 au 0,5.
- La deuxième classe : de -2 à -1.
- Troisième classe : de 1 à 4.

Les résultats de l'analyse de la différence AO-AC selon l'âge et dans l'échantillon global sont représentés au (Tableau 19)

Tableau 19: Analyse de la différence AO-AC par âge.

Age(ans)	N	Médiane	P25-P75	Moyenne	Ecart-type
12	9	00	-0.5_0.5	00	1
13	35	00	-0.5_0.5	-0.09	0.66
14	48	00	-0.5_1	0.31	0.98
15	44	1	00_1.5	0.92	1.21
16	70	1	00_1	0.73	0.82
17	35	0.5	00_1	0.39	0.75
18	17	00	00_0.5	0.18	0.53

La médiane de la différence AO-AC était de 00 pour les enfants de 12-13-14 et 18 ans avec des interquartiles allant de -0.5 à 1. Elle est de 1 pour les 15 et 16 ans avec des interquartiles allant de 00 à 1.5. La médiane pour les enfants de 17 ans était de 0.5 (00, 1). Les moyennes de la différence AO-AC étaient pratiquement toutes positives avec celle des enfants de 15 ans qui était la plus élevée soit 0.92 avec aussi l'écart-type le plus élevé suivie de la moyenne des enfants de 16 ans.

#### 4.5.1 L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des garçons

Les résultats de l'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des garçons sont représentés au (Tableau 20).

Tableau 20: Les résultats de l'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des garçons.

Age(ans)	N	Médiane	P25-P75	Moyenne	Ecart-type
12	6	0,25	-0,5_0,5	-0,8	0,97
13	34	00	-0,5_0,5	-0,11	0,65
14	42	00	-0,5_1	0,16	0,94
15	19	0,5	-1_1,5	0,63	1,47
16	23	0,5	00_1	0,5	0,9
17	17	0,5	00_1	0,58	0,66
18	6	1	00_1	0,66	0,51

La médiane de la différence AO-AC est de 00 pour les garçons âgés de 13 et 14 avec des interquartiles variant entre -0.5 et 1, elle est de 0.5 pour les 16 et 17 avec des interquartiles

entre 00\_1. La médiane chez les garçons de 18 ans était de 1 (00\_1) et celle des garçons de 12 ans était de 0.25 (-0,5 \_ 0,5). La moyenne de la différence AO-AC était supérieure à 0.5 pour les garçons de 15 à 18 ans avec un écart-type le plus élevé celui des garçons de 15 ans.

#### 4.5.2 L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon l'âge des filles

Les résultats de l'analyse descriptive de la différence AO-AC sont représentés au (Tableau 21)

Tableau 21: Différence AO-AC par âges des filles.

Age (ans)	N	Médiane	P25_P75	Moyenne	Ecart-type
12	3	0	-1_---	0,16	1,25
13	1	---	---	---	---
14	6	1	1_2	1,33	0,51
15	25	1	0,5_2	1,14	0,96
16	47	1	0_1	0,84	0,76
17	23	0,5	0_1	0,28	0,7
18	11	00	00_00	-0,09	0,30

La médiane de la différence AO-AC était de 1 an avec des interquartiles s'étendant de 0.5 à 2. Elle était de 00 pour le 12 et les 18 ans et de 0.5 pour les 17 ans. La moyenne de la différence AO-AC était supérieure à 0.80 pour les filles de 14 à 16 ans avec des écart-types allant de 0.51 à 0.96.

#### 4.6 L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence d'âge dans l'échantillon global

Les résultats de la différence d'âges selon les classes de AO-AC sont représentés au (Tableau 22)

Tableau 22: Différence AO-AC réparties selon les classes de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique

Age	Classe Diff AO-AC	N	Pourcentage %
12	[-0,5_0,5]	6	<b>66,7%</b>
	[-2_-1]	2	22,2%
	[1_4]	1	11,1%
13	[-0,5_0,5]	28	<b>80,0%</b>
	[-2_-1]	4	11,4%
	[1_4]	3	8,6%
14	[-0,5_0,5]	24	<b>50,0%</b>
	[-2_-1]	6	12,5%
	[1_4]	18	37,5%
15	[-0,5_0,5]	15	34,1%
	[-2_-1]	5	11,4%
	[1_4]	24	<b>54,5%</b>
16	[-0,5_0,5]	30	42,9%
	[-2_-1]	3	4,3%
	[1_4]	37	<b>52,9%</b>
17	[-0,5_0,5]	20	<b>57,1%</b>
	[-2_-1]	3	8,6%
	[1_4]	12	34,3%
18	[-0,5_0,5]	12	<b>70,6%</b>
	[-2_-1]	1	5,9%
	[1_4]	4	23,5%

Deux tiers des enfants de 12 ans avaient une différence d'âge entre -0.5 et 0.5, tandis que la majorité des enfants de 13 ans (80%) avaient une différence AO-AC comprise entre -0.5 et 0.5.

Pour les enfants de 14 ans, la moitié avait une différence comprise entre 0-.5 et 0.5 et près d'un tiers avait une différence entre [1\_4]. La moitié des enfants, de 15 ans et des enfants de 16 ans, avait une différence s'étendant de 1-4. Plus que la moitié des enfants, de 17 et de 18 ans, avaient une différence entre -0.5 et 0.5.

#### 4.6.1 L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence AO-AC chez les garçons

La répartition de l'échantillon selon les classes de la différence AO-AC est représentée au (Tableau 23)

Tableau 23: Répartition de l'échantillon par classe de différence d'âge chez les garçons.

Age	Classe Diff AO-AC	N	Pourcentage %
12	[-0,5_0,5]	5	<b>83,3%</b>
	[-2_-1]	1	16,7%
13	[-0,5_0,5]	28	<b>82,4%</b>
	[-2_-1]	4	11,8%
	[1_4]	2	5,9%
14	[-0,5_0,5]	24	<b>57,1%</b>
	[-2_-1]	6	14,3%
	[1_4]	12	28,6%
15	[-0,5_0,5]	5	26,3%
	[-2_-1]	5	26,3%
	[1_4]	9	<b>47,4%</b>
16	[-0,5_0,5]	12	52,2%
	[-2_-1]	2	8,7%
	[1_4]	9	<b>39,1%</b>
17	[-0,5_0,5]	6	50,0%
	[1_4]	6	50,0%
18	[-0,5_0,5]	2	33,3%
	[1_4]	4	<b>66,7%</b>

La majorité des garçons (plus de 80%) de 12 ans et de 13 ans et les deux tiers des garçons de 14 ans avaient une différence AO-AC comprise entre -0.5 et 0.5. La moitié des enfants de 15 ans avait une différence entre 1 et 4. Chez les enfants de 16 ans la moitié avait une différence allant de -0.5 à 0.5 et presque la moitié avait une différence entre 1 et 4. La

différence AO-AC pour les enfants de 17 ans était à moitié comprise entre 0.5 et 0.5 et entre 1 et 4 pour l'autre moitié.

#### 4.6.2 L'analyse descriptive de la différence AO-AC selon les classes de la différence AO-AC chez les filles

La répartition de l'échantillon selon les classes de la différence AO-AC est représentée au (Tableau 24).

Tableau 24: Analyse descriptive de la répartition de l'échantillon selon les classes de la différence AO-AC chez les filles.

Age	Classe Diff AO-AC	N	Pourcentage %
12	[-0,5_0,5]	1	33,3%
	[-2_-1]	1	33,3%
	[1_4]	1	33,3%
13	[1_4]	1	100,0%
14	[1_4]	6	<b>100,0%</b>
15	[-0,5_0,5]	10	40,0%
	[1_4]	15	<b>60,0%</b>
16	[-0,5_0,5]	18	38,3%
	[-2_-1]	1	2,1%
	[1_4]	28	<b>59,6%</b>
17	[-0,5_0,5]	14	<b>60,9%</b>
	[-2_-1]	3	13,0%
	[1_4]	6	26,1%
18	[-0,5_0,5]	10	<b>90,9%</b>
	[-2_-1]	1	9,1%

La différence AO-AC de [1\_4] prédominait chez les filles âgées de 12 à 16 ans, cette différence était comprise entre -0.5 et 0.5 chez 60% des filles âgées de 17 ans et chez 90% des filles âgées de 18 ans.

#### 4.7 Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude des écarts

L'analyse descriptive de la concordance entre l'AO et l'AC par l'étude des écarts entre les deux âges, dans l'échantillon globale, est représentée au (Tableau 25).

Tableau 25 : Analyses descriptives des écarts entre l'AO et l'AC dans l'échantillon globale.

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
$[-0,5 \rightarrow 0,5]$	135	<b>52,3%</b>	52,3%
$[-2 \rightarrow -1]$	24	9,3%	61,6%
$[1 \rightarrow 4]$	99	38,4%	100,0%
Total	258	100,0	

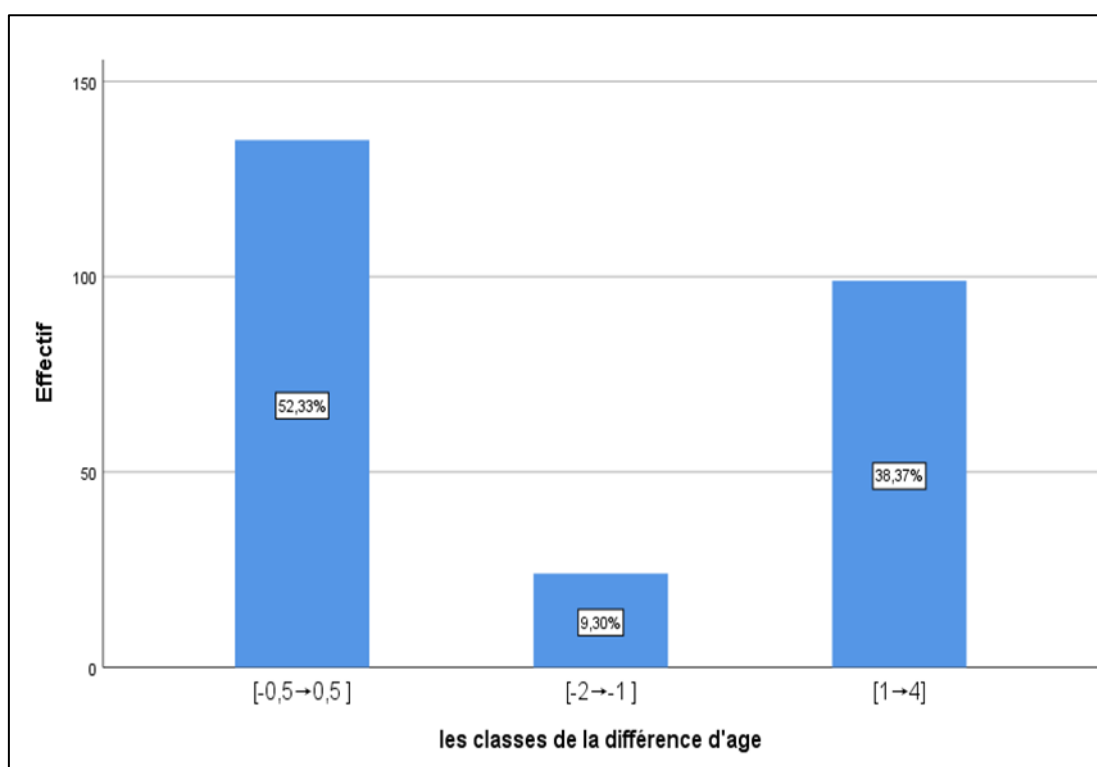


Figure 68: Histogramme représentant les fréquences de l'effectif selon les classes des écarts AO-AC dans l'échantillon global.

L'analyse de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique (Tableau 25, **Error! Reference source not found.**68), pour la globalité de l'échantillon, montrait que la moitié de l'échantillon avait une différence AO- AC s'étendant de -0.5 à 0.5.

Tandis que 38 % de cet échantillon présentait une différence AO-AC allant de 1 à 4.

Les cas où la différence variait entre [-2→-1] sont minoritaire avec un pourcentage de 9%.

#### **4.7.1 Analyse de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les garçons de la classe d'âge [12-15[**

Une analyse plus précise selon le sexe et la classe d'âge est faite, afin de montrer les particularités de chaque groupe d'âge selon le sexe.

L'analyse descriptive des écarts AO-AC sont représentés au (Tableau 26)

*Tableau 26: Analyse descriptives des écarts entre l'AO et l'AC chez les garçons de la classe d'âge [12-15[.*

Classe d'âge		Pourcentage	Pourcentage cumulé
[-0,5→0,5]	57	69,5%	69,5%
[-2→-1]	11	13,4%	82,9%
[1→4]	14	17,1%	100,0%
Total	82	100,0%	

L'analyse des différences entre l'âge osseux et chronologique, pour les garçons appartenant à la classe d'âge [12-15[, révélait que 69,5 % avaient un écart AO-AC allant de -0.5 à 0.5. Alors 30,5% des garçons avaient un écart AO-AC débordant des deux côtés la classe [-0,5→0,5].

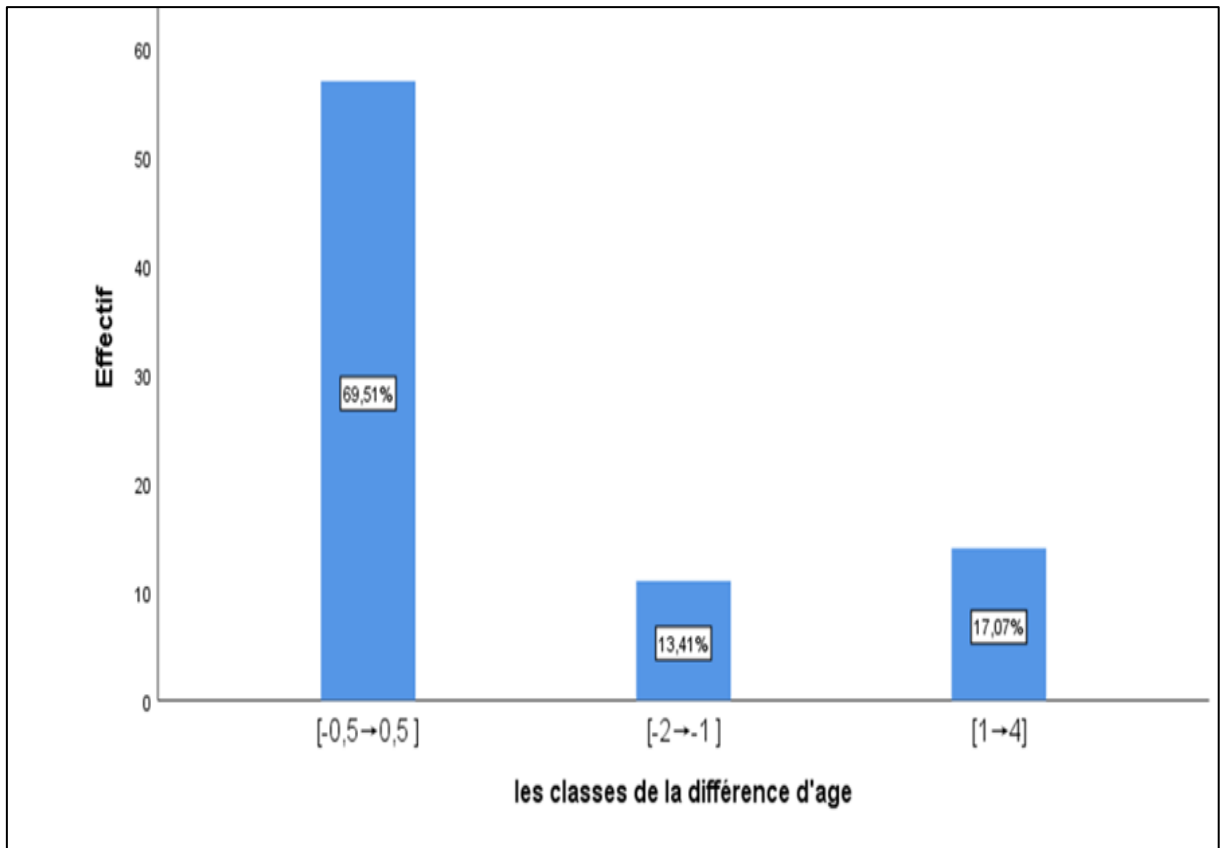


Figure 69: Histogramme présentant les fréquences de l'effectif selon les classes des écarts AO-AC chez les garçons de la classe d'âge [12-15].

#### 4.7.2 Analyse descriptive des écarts entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les garçons de la classe d'âge [15-18]

Les résultats de l'analyse descriptives des écarts entre l'AO et l'AC sont représentés au (Tableau 27)

Tableau 27: Analyse descriptive des écarts AO-AC chez les garçons de la classe d'âge [15-18].

Classe d'âge	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
[-0,5→0,5]	25	41,7%	41,7%
[-2→-1]	07	11,7%	53,3%
[1→4]	28	46,7%	100,0%
Total	60	100,0%	

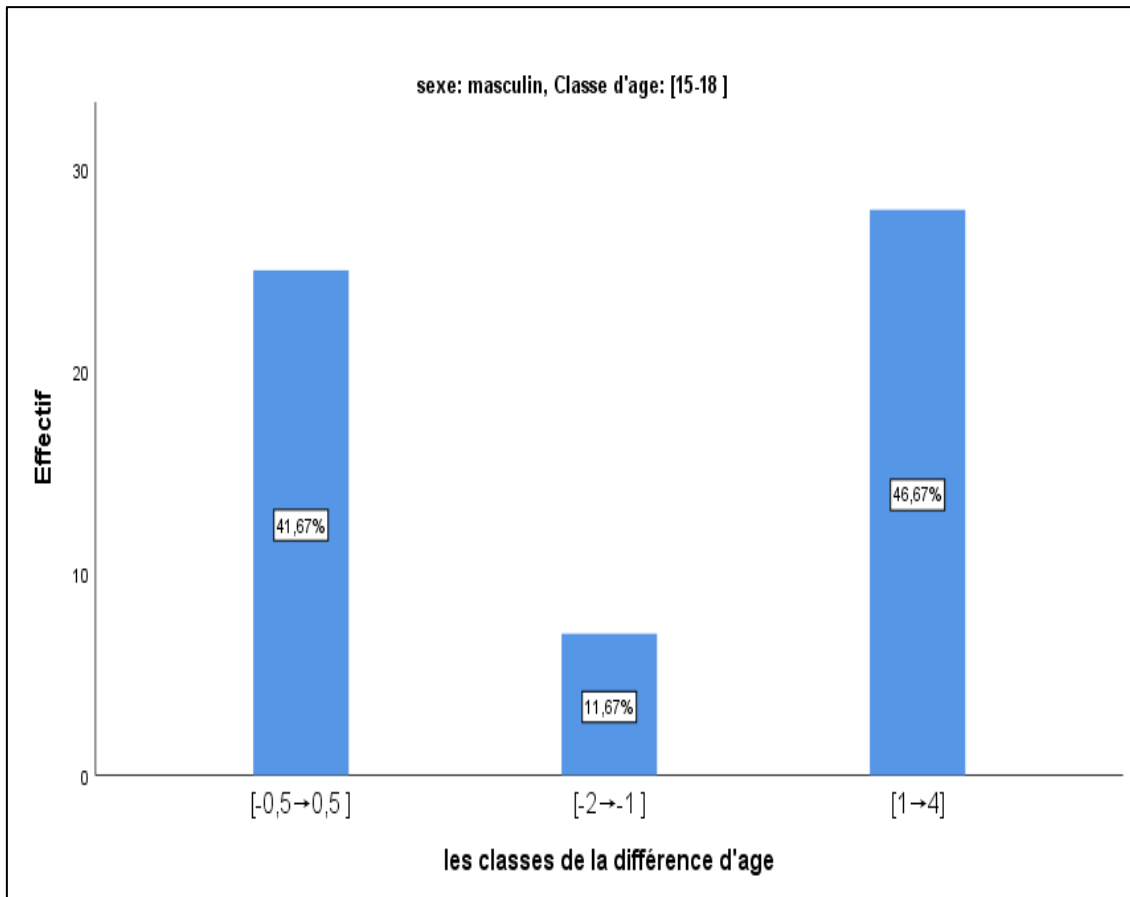


Figure 70: Histogramme des fréquences de l'effectif distribuées selon les classes des écarts AO-AC chez les garçons de la classe d'âge [15-18].

Le pourcentage des garçons avec un écarts entre AO et l'AC compris entre 1 et 4 était de 46.7% tandis celui de la classe des écarts [-0,5→0,5] était de 41.7%.

#### 4.7.3 Analyse descriptive des écarts entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [12-15]

Les résultats de l'analyse descriptive des écarts AO-AC sont représentés au (Tableau 28)

Tableau 28: Les results de l'analyse descriptive des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [12-15].

Classe d'âge	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
[-0,5→0,5]	1	10,0%	10,0%
[-2→-1]	1	10,0%	20,0%
[1→4]	8	80,0%	100,0%
Total	10	100,0%	

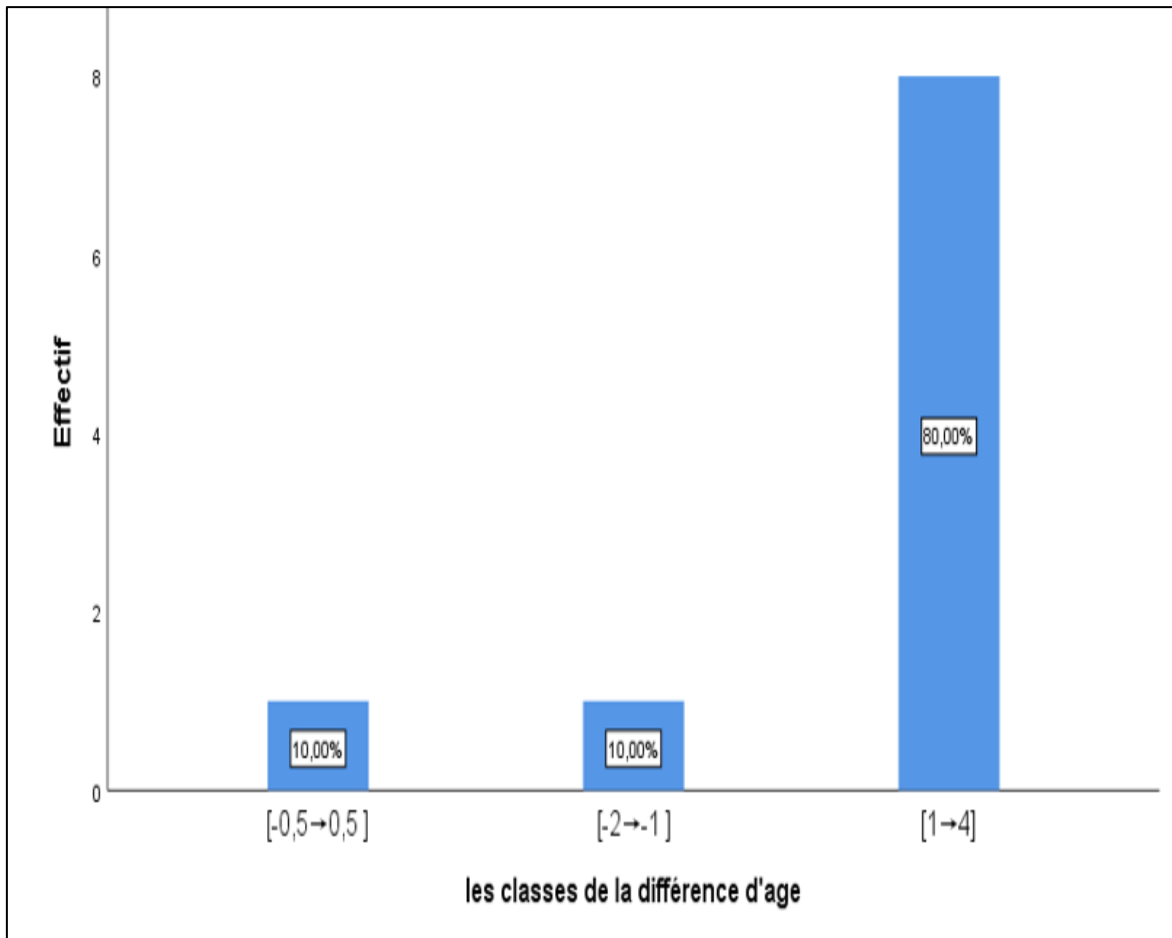


Figure 71: Histogramme des fréquences de l'effectif distribués selon les classes des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [12-15].

L'analyse des écarts entre l'AO et l'AC pour les filles de la classe d'âge [12-15] montrait que 80% des filles avaient un écart compris entre 1 et 4.

#### 4.7.4 Analyse descriptive des écarts entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [15-18]

Les résultats de cette analyse descriptive sont représentés au (Tableau 29)

Tableau 29: Les résultats de l'analyse descriptive des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [15-18].

Classe d'âge	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
[-0,5→0,5]	52	49,06%	49,06%
[-2→-1]	5	4,72%	53,76%
[1→4]	49	46,23%	100,0%
Total	106	100,0%	

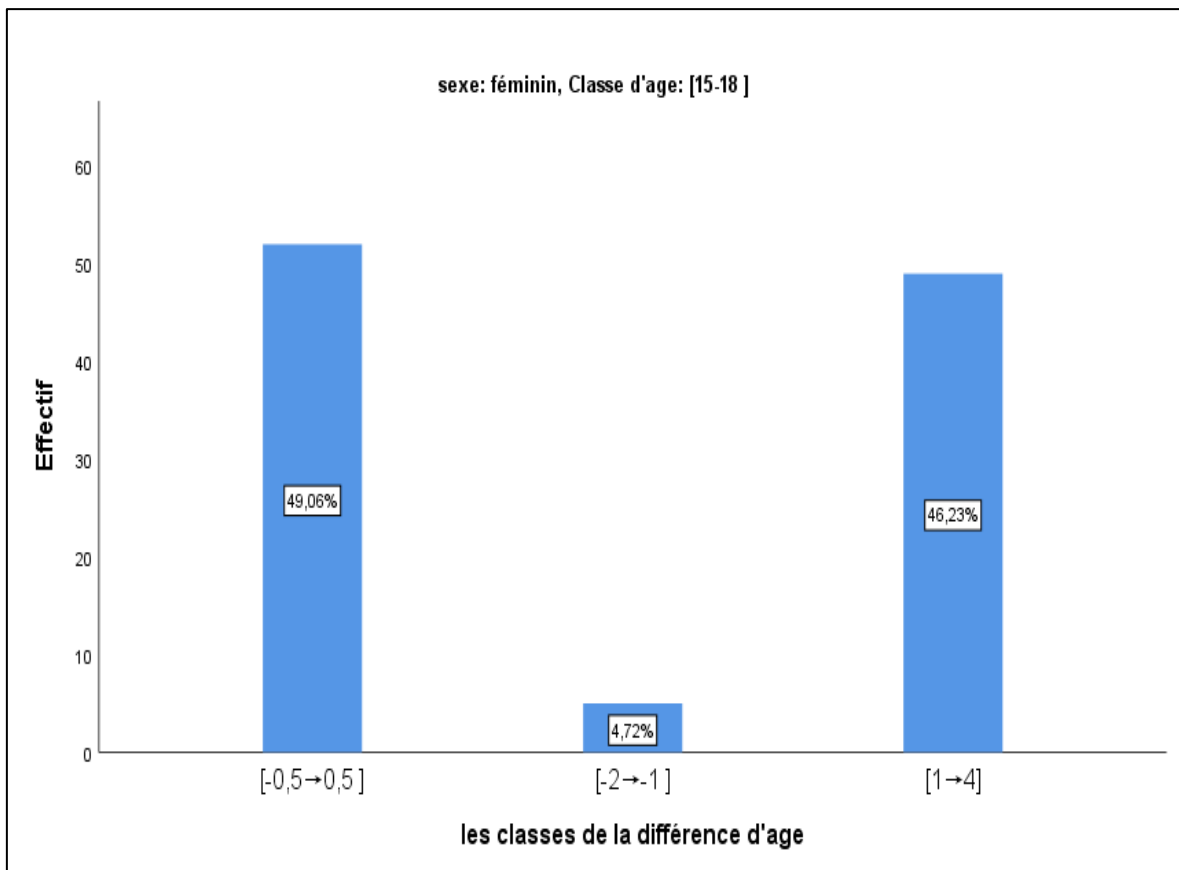


Figure 72: Histogramme des fréquences de l'effectif distribués selon les classes des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [15-18].

L'analyse des écarts AO-AC chez les filles de la classe d'âge [15-18] montre que la moitié de l'effectif de cette classe avait un écart compris entre -0.5 et 0.5 et l'autre presque moitié avait un écart allant de 1 à 4.

#### 4.8 Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'échantillon global

Les deux variables, AC et AO, sont liées et elles ne se suivent pas la loi normale dans leur distribution, ce qui impose l'utilisation de teste statistique de Wilcoxon pour évaluer s'il y a une différence significative entre l'AO estimé par l'AGP et l'AC. Les résultats sont distribués selon les deux classes d'âge et selon le sexe (Tableau 30).

Tableau 30: Test de classement de Wilcoxon pour l'AO et l'AC, dans l'échantillon global.

	N	Médiane AO-AC	Médiane (ans)	Z	Valeur de P
AO vs AC	258	0.5 (00- 1)	AO : 16 AC : 15.5	-7.17	0,001

Le p du test statistique de Wilcoxon est inférieur à 0.001, avec une médiane d'AO de 16 ans et une médiane d'AC de 15,5 ans (Tableau 30), ainsi qu'une médiane de la différence entre l'AO et l'AC de 0,5.

#### 4.8.1 Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique de la classe d'âge [12-15], chez les garçons

Les résultats de l'analyse statistique de la différence entre l'AO et l'AC chez les garçons de la classe d'âge sont représentés au (Tableau 31)

Tableau 31: Test de classement de Wilcoxon de la classe d'âge [12-15], chez les garçons.

	N	Médiane AO-AC	Médiane (ans)	Z	Valeur de P
AO vs AC	82	0,000 (-0,5 - +0,5)	AO : 14 AC : 14	1,17	0,24

Les résultats du test de Wilcoxon pour les variables AO et AC dans cet échantillon de 82 garçons âgés entre [12-15], ont montré une valeur de p supérieure à 0,05 avec  $z= 1,17$  et  $p= 0, 2$  avec la même médiane pour les deux ages.

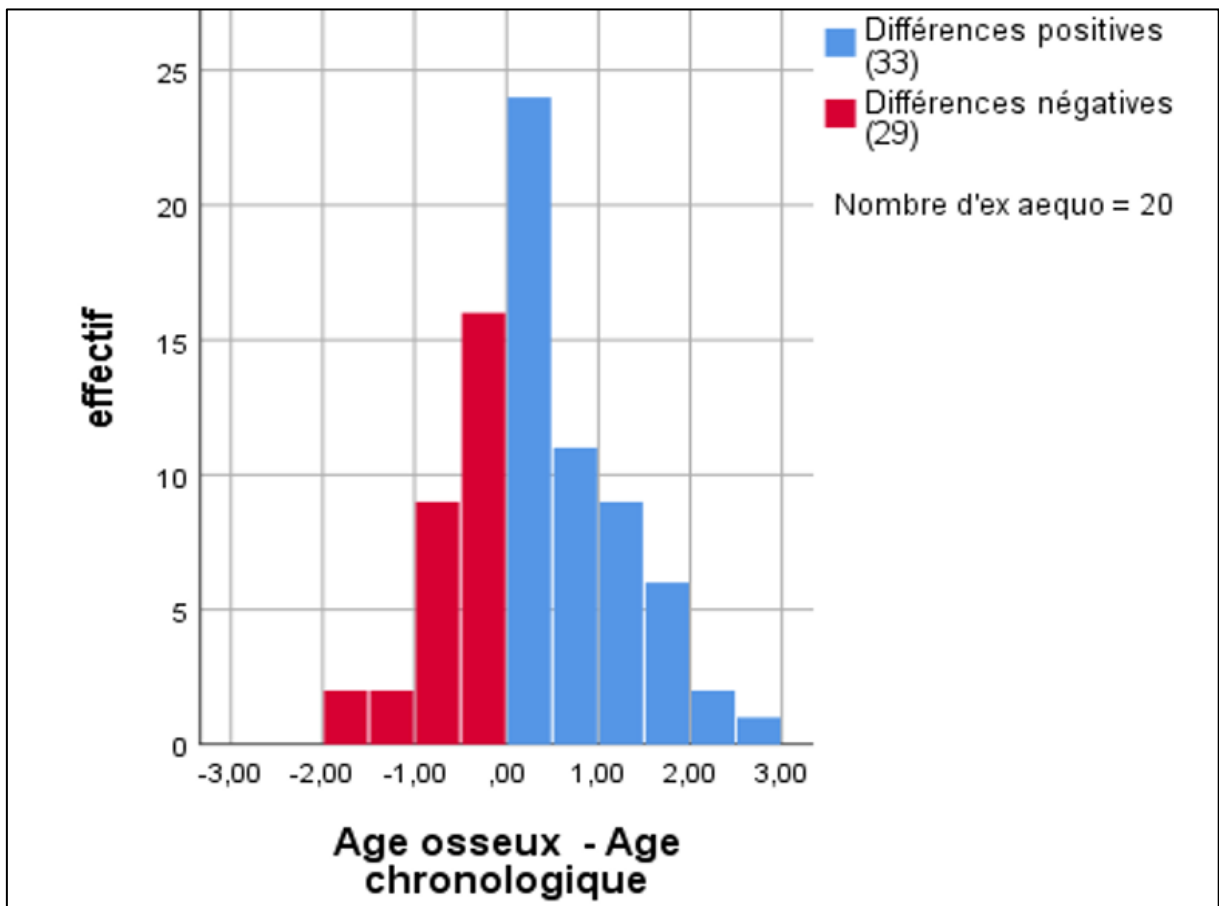


Figure 73: Histogramme du test de classement de WILCOXON chez les garçons de la classe d'âge [12-15].

L'histogramme de la variable « âge osseux – âge chronologique » pour cette classe d'âge des garçons (**Error! Reference source not found.3**) présente une distribution globalement centrée autour de zéro

#### 4.8.2 Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique de la classe d'âge [15-18], chez les garçons

Les résultats de l'analyse statistique par le test de classement de Wilcoxon sont représentés au (Tableau 32)

Tableau 32: Test de classement de Wilcoxon pour la classe d'âge [15-18], chez les garçons.

	N	Médiane AO-AC	Médiane (an)	Z	Valeur P
AO vs AC	60	0,5 (00 - 01)	AO: 17 AC: 16	3,97	0,001

Les résultats de test de Wilcoxon pour cette classe d'âge de 60 garçons âgés entre [15-18], sont revenu en faveur d'une différence significative entre l'AO et l'AC avec un  $p < 0,05$  et une médiane d'AO=17 supérieures à celle de l'AC =16.

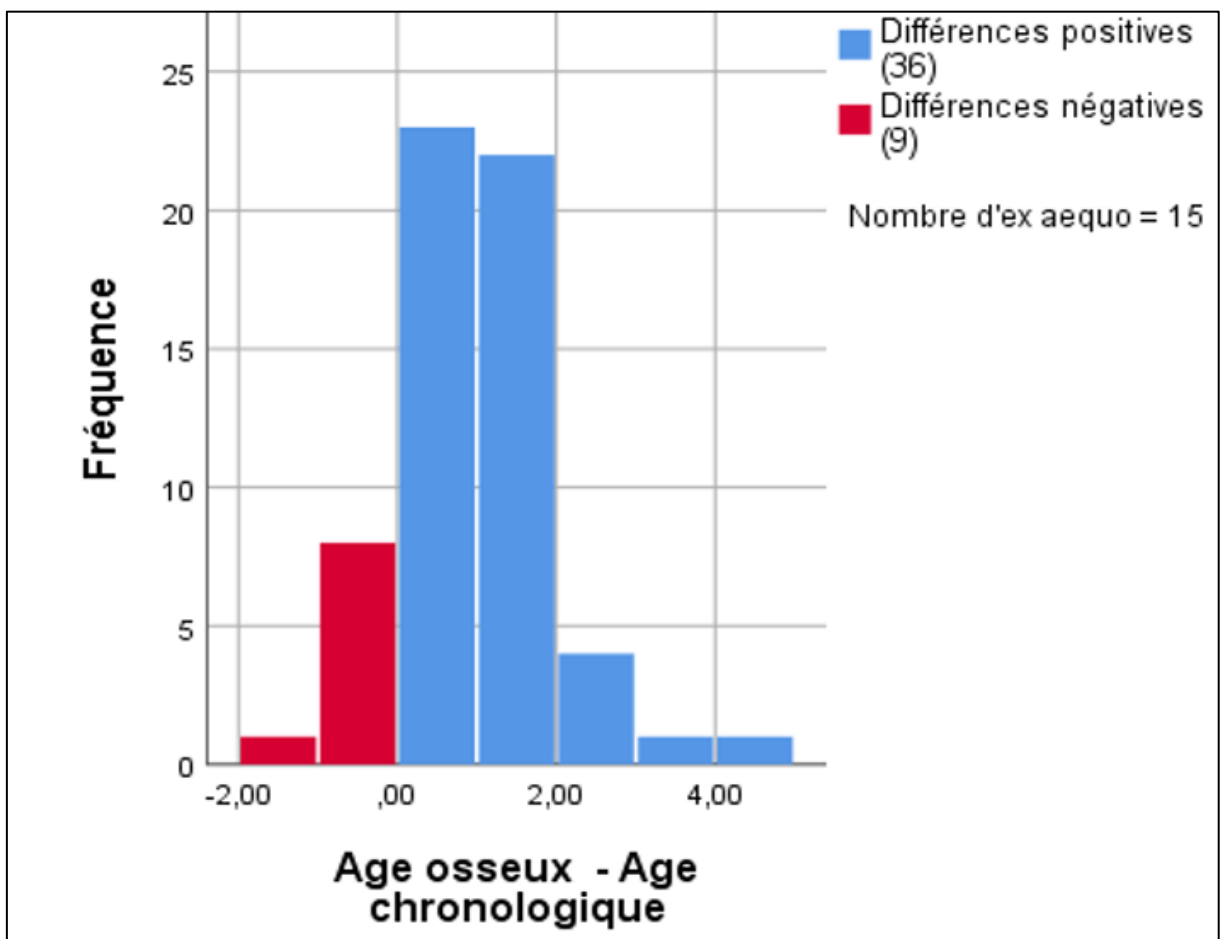


Figure 74: Histogramme du test de classement de Wilcoxon pour les garçons de la classe d'âge [15-18]

L'histogramme du test statique de Wilcoxon pour cet échantillon de garçons âgés de 15 à 18 ans montrait que près des deux tiers avaient une différence AO- AC positive.

#### 4.8.3 Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les filles de la classe d'âge [12-15]

L'analyse statistique de la différence entre l'AO et l'AC par le test de classement de Wilcoxon est représentée au (Tableau 33).

Tableau 33: Test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [12-15].

	N	Médiane AO-AC	Médiane (ans)	Z	Valeur du P
AO vs AC	10	1,00 (+0,75 - 1,625)	AO :15 AC : 14	2,41	0,016

Les données du test statistique de Wilcoxon pour la classe d'âge des filles [12-15], sont en faveur d'une différence statistiquement significative entre l'AO et l'AC, avec  $p=0,01$  et une médiane d'AO supérieure à la médiane d'AC.

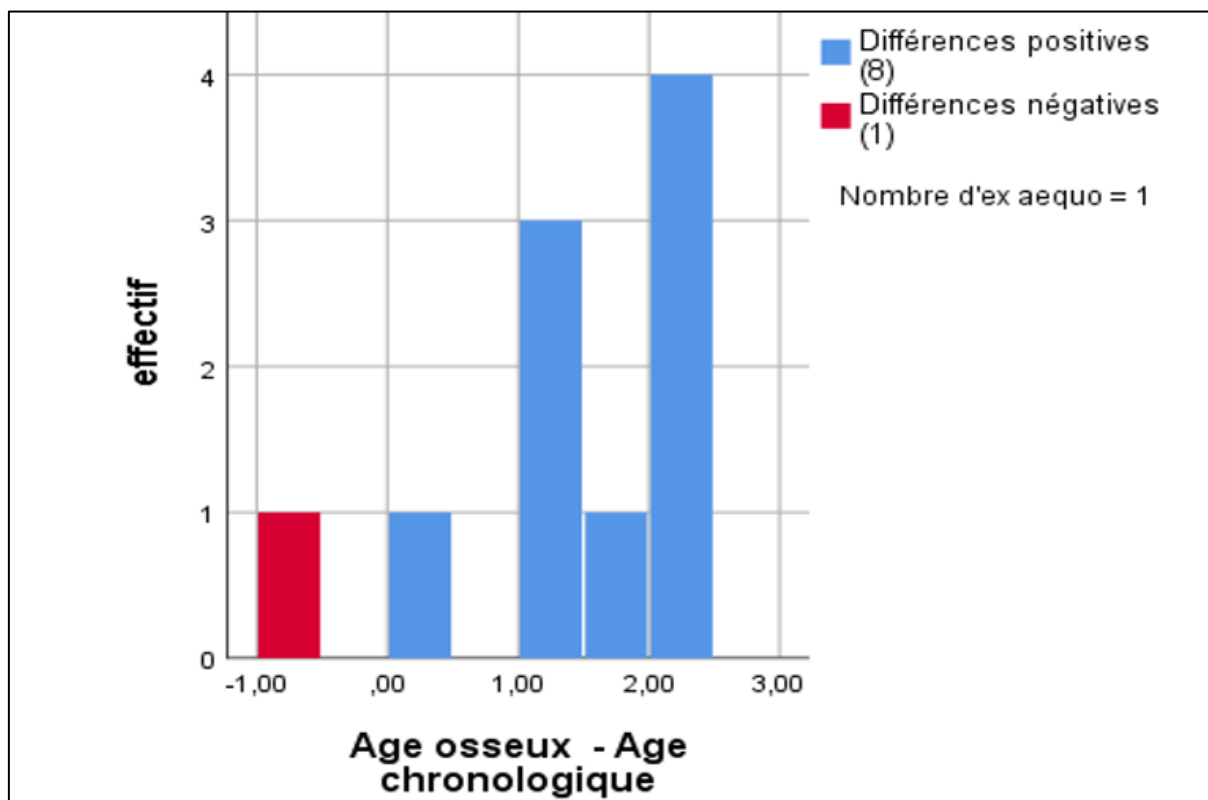


Figure 75: Histogramme du test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [12-15].

Le graphe nous montre que la majorité des cas présentait une différence AO-AC > 1

#### 4.8.4 Analyse statistique de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique chez les filles de la classe d'âge [15-18]

Les résultats de l'analyse de la différence entre les deux âges par le test statistique de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [15-18] sont représentés au (Tableau 34).

Tableau 34: Test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [15-18].

	N	Médiane AO-AC	Médiane d'âge	Z	P
AO vs AC	106	0.50 (00 - 01)	AO : 17 AC : 16	6.43	0.001

Les résultats statistiques du test de Wilcoxon pour cette classe d'âge de 106 filles, âgées de 15 à 18 ans, ont montré une différence significative entre l'âge osseux (AO) et l'âge chronologique (AC), avec un seuil de signification  $p < 0,05$ . En outre, la médiane de l'AO = 17, est supérieure à celle de l'AC, qui est de 16 ans.

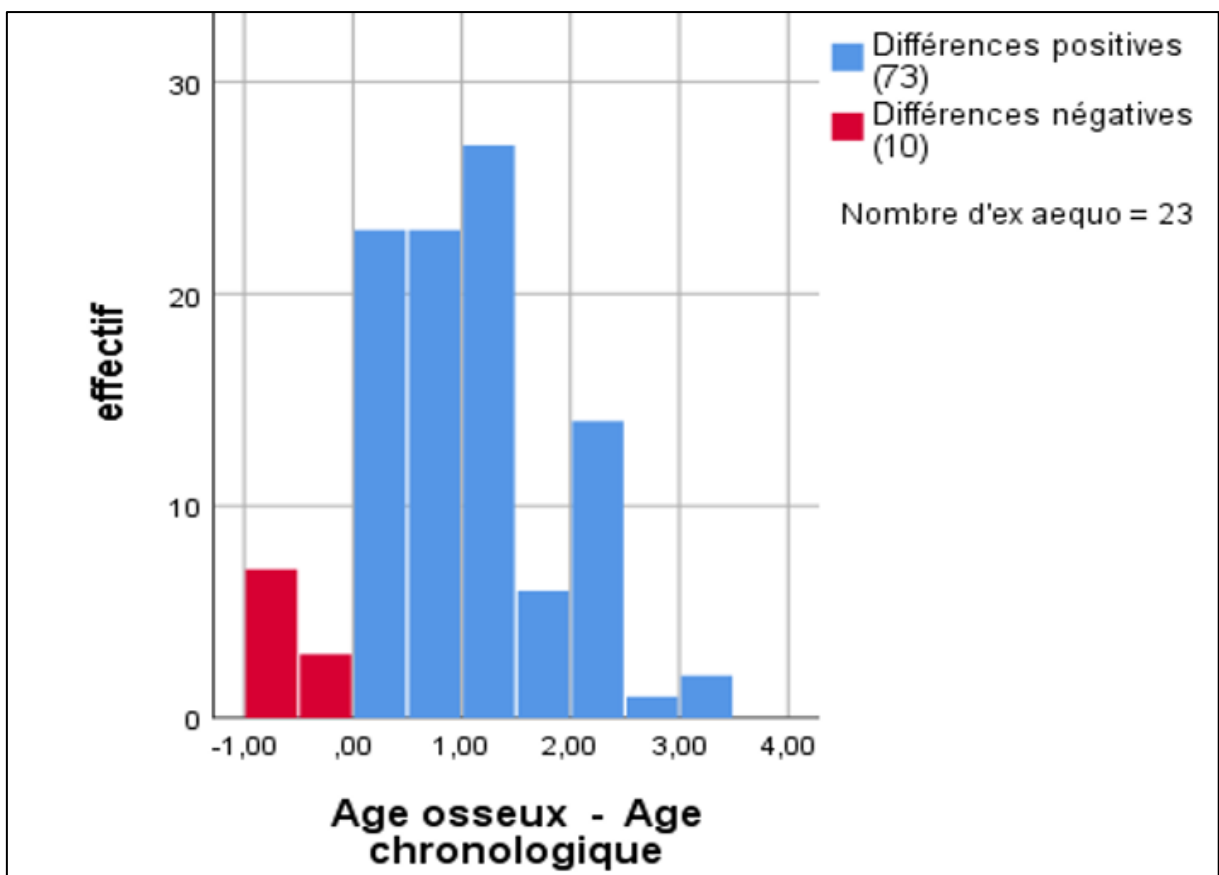


Figure 76: Histogramme du test de classement de Wilcoxon chez les filles de la classe d'âge [15-18].

L'histogramme des différences entre l'âge osseux (AO) et l'âge chronologique (AC) met en évidence que la majorité des valeurs étaient positives, ce qui indique que, chez une grande partie des filles (73 filles), l'AO était supérieur à l'AC.

#### 4.9 Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue

Cette analyse complète celle de la différence signée en apportant une mesure de la dispersion ou de la variabilité absolue des erreurs.

L'erreur absolue a été comparée entre les garçons et les filles et entre les deux classes d'âge à l'aide du test de Mann–Whitney.

La comparaison a été faite sur la totalité de l'échantillon puis entre les deux sexes selon les classes d'âge et entre les deux classes d'âge, selon le sexe.

##### 4.9.1 Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue entre les deux sexes dans les deux classes d'âge

Les résultats de l'analyse statistique de l'erreur absolue entre les garçons et les filles selon les classes d'âge sont représentés au (Tableau 35)

Tableau 35: L'erreur absolue entre les garçons et les filles, dans l'échantillon global et selon les classes d'âge.

	N		Médiane	p
Total [12-18]	258	Garçons	0,5	0.06
		Filles	01	
[12-15[	92	Garçons	0,5	0.001
		Filles	1	
[15-18]	166	Garçons	1	0.67
		Filles	1	

L'analyse de l'erreur absolue entre les garçons et les filles dans notre échantillon a montré que la différence n'était pas significative, tandis qu'après stratification de l'échantillon en deux sous-groupes selon les classes d'âges [12-15[; [15-18]), une différence significative a été observée entre les deux sexes dans la classe d'âge [12-14,5] avec  $p=0.04$ .

L'analyse de l'erreur absolue dans la 2<sup>ème</sup> classe n'a montré aucune différence significative.

#### 4.9.2 Analyse de la concordance de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique par l'étude d'Erreur absolue entre les deux classes d'âge selon le sexe

Les résultats de l'analyse statistique de l'erreur absolue entre les deux classes d'âge sont représentés au tableau (Tableau 36)

Tableau 36: L'erreur absolue entre les deux classes d'âges selon le sexe.

	N		Médiane	p
Total Garçons /Filles	258	[12-15[	0,5	0,027
		[15-18]	1	
Garçons	142	[12-15[	0,5	0,001
		[15-18]	1	
Filles	116	[12-15[	1	0,09
		[15-18]	1	

L'analyse de l'erreur absolue entre les deux classes d'âge a montré une différence significative dans la totalité de l'échantillon avec  $p < 0.05$ , l'erreur absolue était plus élevée dans la 2<sup>ème</sup> classe [15-18].

L'analyse de l'erreur absolue entre les deux classes d'âges chez les garçons a montré une différence significative avec  $P < 0,05$ , avec une médiane plus élevée dans la classe d'âge [15-18] avec une médiane élevée.

La différence des médianes entre les deux classes n'était pas significative chez les filles avec  $p > 0.05$ , mais la médiane était élevée dans les deux classes.

#### 4.10 Analyse de concordance entre l'AO et L'AC par le diagramme de Bland-Altman

L'analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman dans l'échantillon globale est représentée au tableau (Tableau 37) et au graphe ( Figure 77).

Tableau 37: Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC

	Echantillon globale	Masculin [12-15[	Masculin [15-18]	Féminin [12-14,5]	Féminin [15-18]
Biais (moyenne AO-AC)	0,47	0,03	0,57	0,95	0,69
Limites de l'accord à 95 %	[2,33_-1,39]	[1,67_-1,61]	[2,58_-1,44]	[2_-0,79]	[2,4_-1,01]

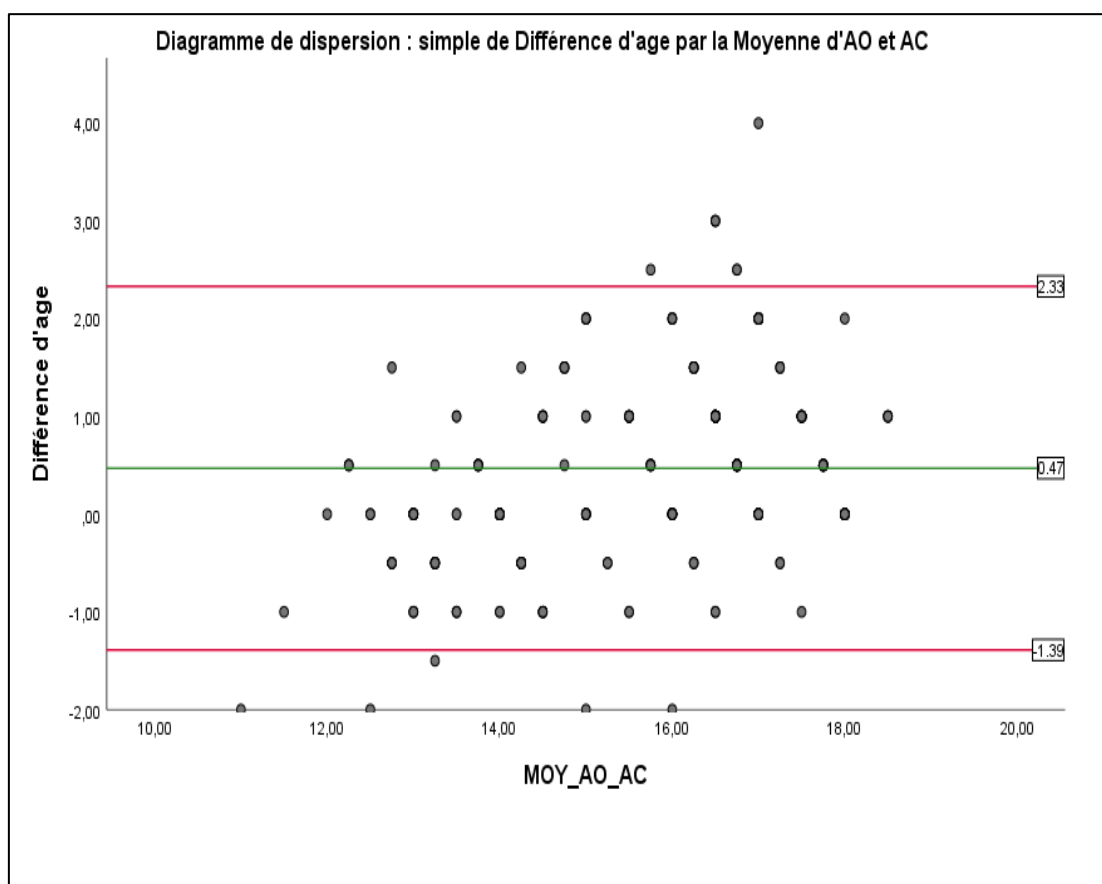


Figure 77: Diagramme de Bland Altman représentant les biais dans l'échantillon globale.

Le diagramme de Bland-Altman montre une moyenne des différences AO – AC de 0,47 an, avec un écart-type= 0,95 et un coefficient de précision= 1,86 (égale= 1,96 x écart-type)

Les limites d'accord sont de –1,39 à +2,33 ans, ce qui signifie que 95 % des différences entre les deux mesures se situent dans cet intervalle.

Quelques écarts importants étaient observés, notamment entre à 15 et à 18 ans.

#### 4.10.1 Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les garçons de la classe d'âge [12-15]

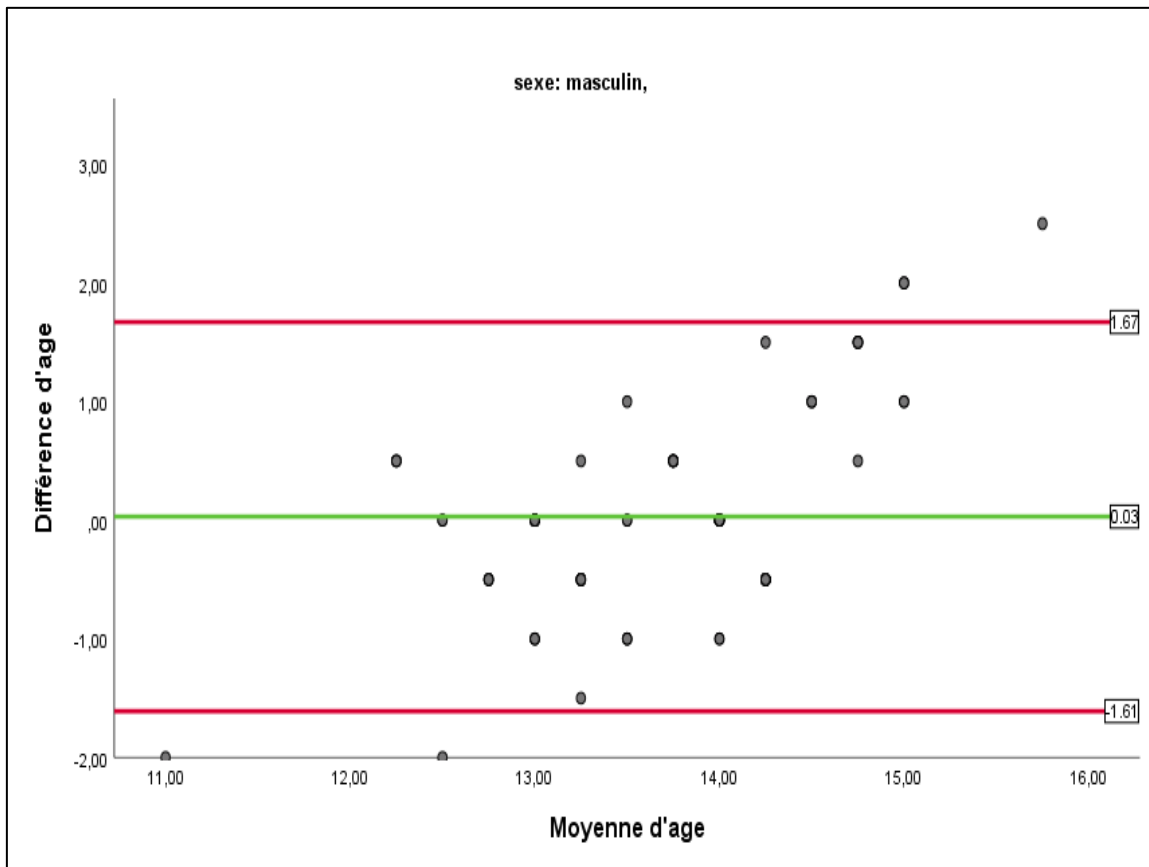


Figure 78: Diagramme de Bland Altman chez les garçons de la classe d'âge [12-15]

- La moyenne de la différence AO-AC était de 0,03, les différences entre l'âge osseux et l'âge chronologique étaient au tour de cette moyenne qui s'approchait du zéro.
- L'écart-type= 0,84 avec un coefficient de précision= 1,64

#### 4.10.2 Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les garçons s de la classe d'âge [15-18]

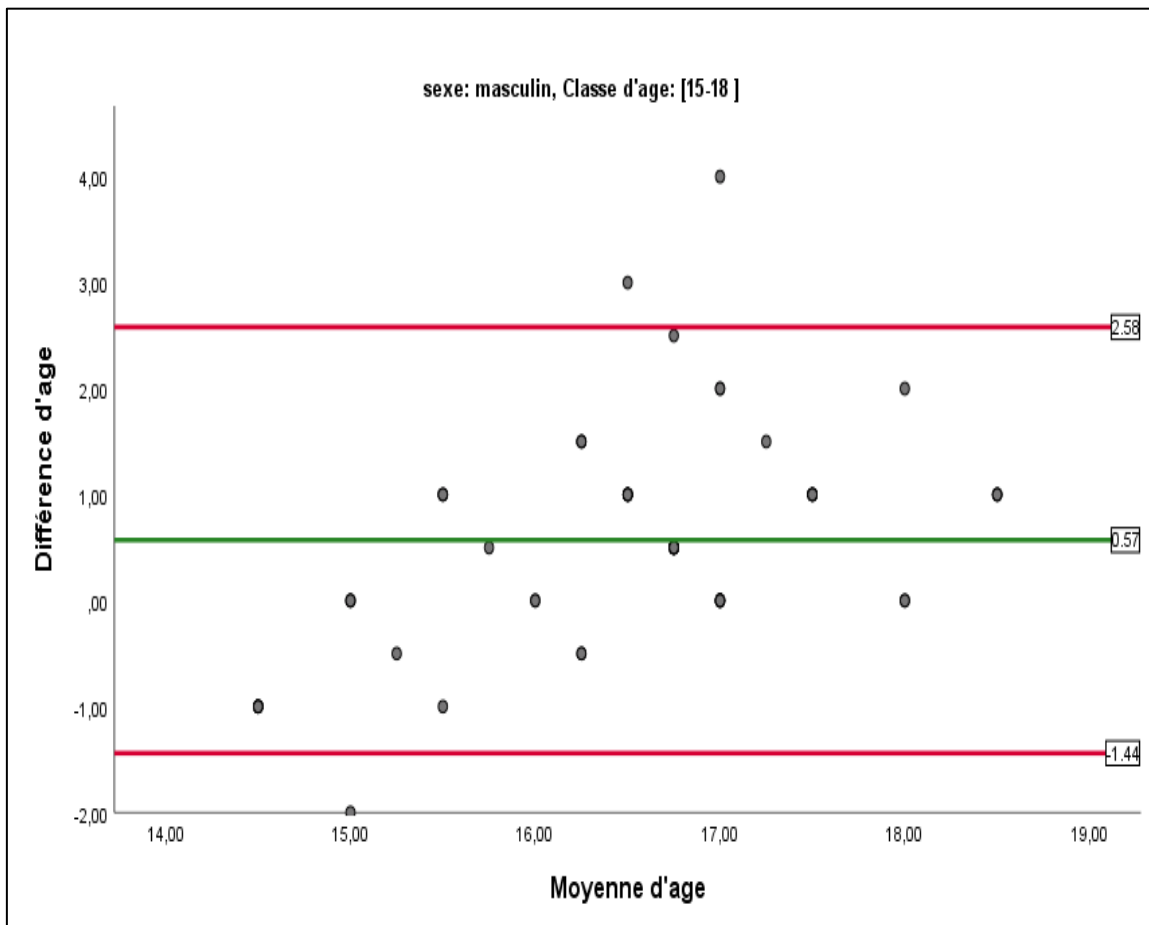


Figure 79: Diagramme de Bland-Altman pour les garçons âgés de 15 à 18 ans

- La moyenne de la différence d'âge était de 0,57 avec une dispersion des différences entre les deux âges au tour de cette moyenne avec des limites d'accords comprises entre -1,44 et 2,58.
- Ecart-type= 1,03 et un coefficient de précision= 2,01

#### 4.10.3 Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [12-15[

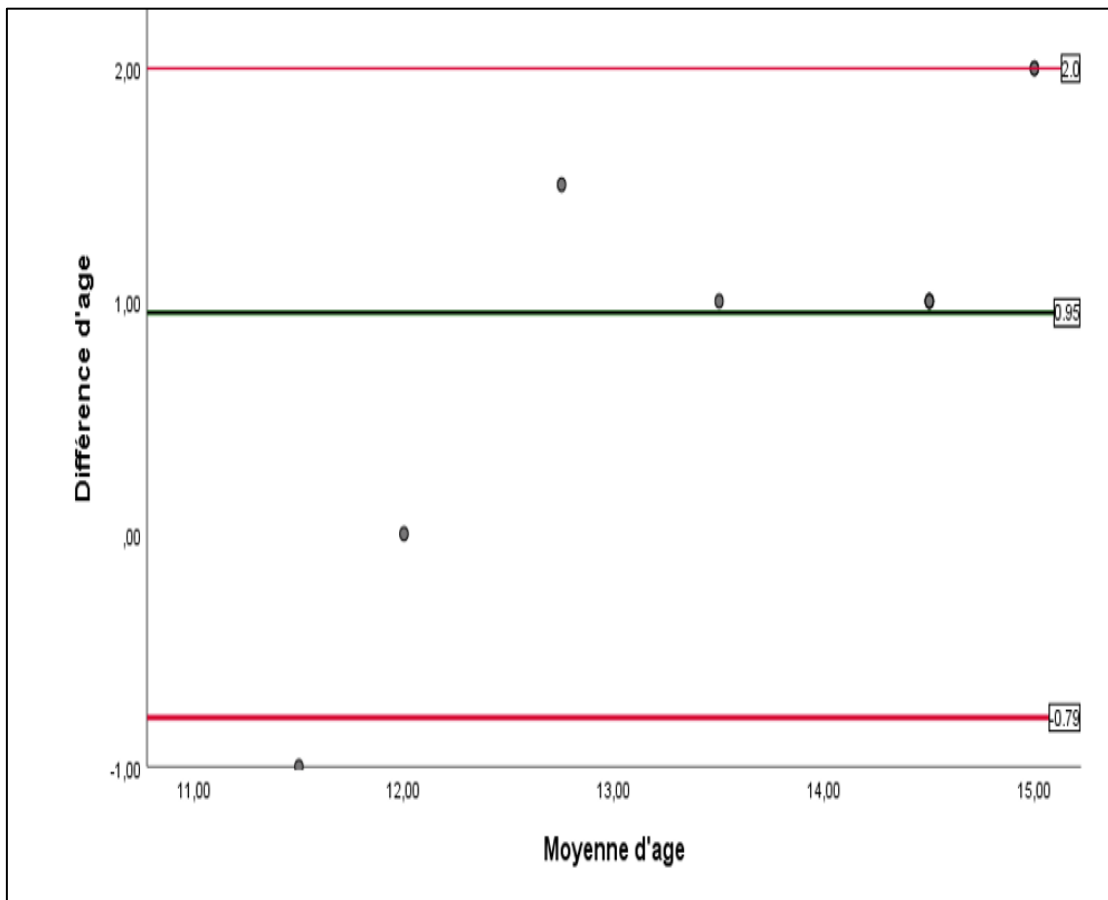


Figure 80: Graphe de Bland Altman montrant la différence entre l'AO et l'AC chez les filles de la classe d'âge [12-15[

- La moyenne de la différence AO-AC était de 0,95, peu de point qui étaient plus au moins au tour du biais.
- Ecart-type= 0,89 et un coefficient de précision= 1,74

#### 4.10.4 Analyse de la concordance entre l'AO et l'AC par le diagramme de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [15-18]

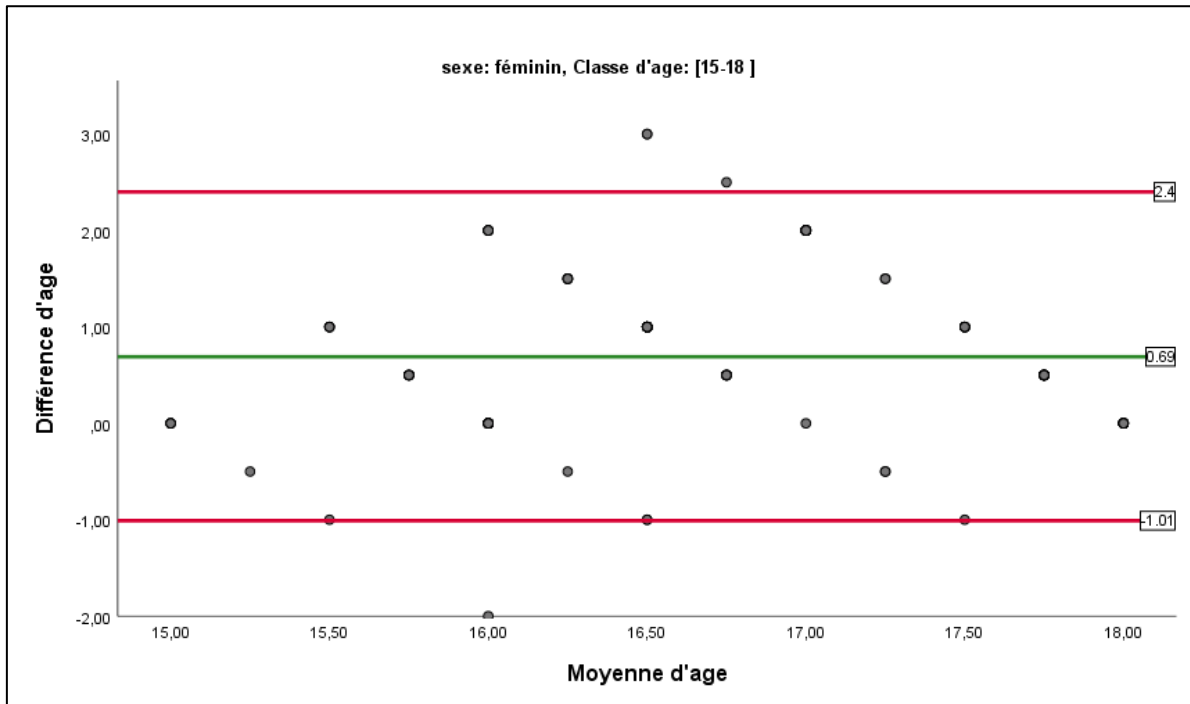


Figure 81: Graphe de Bland Altman chez les filles de la classe d'âge [15-18]

- La moyenne de la différence AO-AC était de 0,69 avec des limites d'accords qui étaient comprises entre -1,01 et 2,4, La plupart des points se trouvaient entre les limites des accords.
- Ecart-type=0,87 et un coefficient de précision=1,70

#### 4.11 Régression linéaire

Une régression linéaire simple a été réalisée pour modéliser l'âge osseux en fonction de l'âge chronologique, les résultats statistiques de cette régression sont représentés au (Tableau 38)

**Tableau 4.11. Résultats de la régression linéaire.**

Tableau 38: Tableau de la régression linéaire

Variables	Coefficient B (non standardisé)	Erreur standard	t de Student	p-value
Constante (a)	-0,402	0,599	-0,671	0,503
(AC)	1,059	0,39	27,25	< 0,001
Statistiques du modèle				Valeur
R				0,862
R <sup>2</sup>				0,744
R <sup>2</sup> ajusté				0,743
Erreur standard				0,95
F (ANOVA)				742,697
p-value (ANOVA)				< 0,001

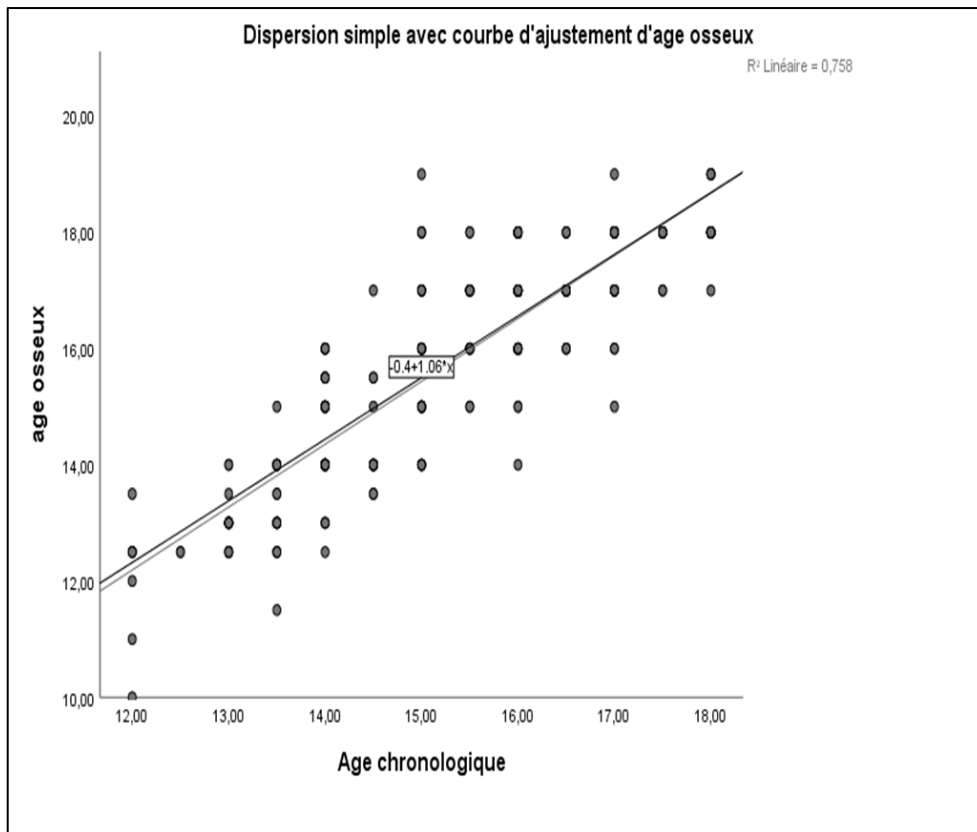


Figure 82 : Dispersion avec courbe d'ajustement de l'AO

Les résultats de la régression linéaire simple, entre l'âge chronologique (variable indépendante) et l'âge osseux (variable dépendante), ont montré que le modèle est hautement significatif ( $p < 0,001$ ) avec un  $R^2$  de 0,74.

L'équation de la régression linéaire simple entre l'âge chronologique et l'âge osseux est la suivante :

$$\text{Age osseux} = -0,4 + 1,06 \times \text{Age chronologique}$$

Le coefficient de régression (la pente) est de 1,06, ce qui suggère que l'âge osseux augmente légèrement plus rapidement que l'âge réel. Cela met en évidence une tendance à la surestimation de la maturation.

## 4.12 Influence des facteurs socio-démographiques

### 4.12.1 Comparaison des différences AO-AC selon l'origine géographique

Une comparaison des différences AO-AC est faite pour élucider des variations régionales, culturelles, ou nutritionnelles qui pourraient influencer la croissance et la maturation osseuse.

Les résultats de cette analyse statistique sont représentés au (Tableau 39)

Tableau 39: Analyses statistiques de la comparaison des différences selon l'origine géographique.

Variable indépendante	N (total)	Statistique H de Kruskal-Wallis	ddl	p-value
Origine géographique	258	21,67	4	< 0.001
Origine géographique [12-15[	90	0,22	2	0,89
Origine géographique [15-18]	159	8,27	4	0,08

Le test de Kruskal-Wallis appliqué à l'échantillon global a mis en évidence une influence statistiquement significative de l'origine géographique sur la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique ( $p < 0.001$ ).

Mais, lorsque l'analyse a été faite séparément selon les classes d'âge [12-15[ et [15-18], aucune différence significative n'a été retrouvée.

#### 4.12.2 Comparaison des différences AO–AC selon le Statut socio-économique (SSE)

Les résultats de l'analyse statistique de la comparaison de la différence AO-AC selon le niveau socio-économique sont représentés au (Tableau 40)

Tableau 40: Résultats du test statistique de Kruskal-Wallis de comparaison des différences AO-AC selon les différents SSE.

	N	Statistique H de Kruskal-Wallis	P value
SSE Total	242	13,51	0,01
SSE [12-15[	85	0,44	0,80
SSE [15-18]	157	10,16	0,06

L'analyse par le test de Kruskal–Wallis a mis en évidence une différence significative entre l'AO et l'AC dans les différents groupes du statut socio-économique de l'échantillon globale avec  $p < 0.001$ . Néanmoins lorsqu'on a testé séparément cette différence selon les classes d'âge, aucune différence significative n'a été retrouvée,  $p = 0,80$  pour la classe d'âge [12-15[ et  $p = 0,06$  pour la classe d'âge [15-18].

#### 4.12.3 Comparaison des différences AO–AC selon l'IMC

Les résultats de l'analyse statistique par le test de Kruskal-Wallis sont présentés au (Tableau 41)

Tableau 41: Analyse statistique de comparaison des différences AO-AC selon groupes de Z-score de l'IMC

	N	Statistique de Kruskal-Wallis	P value
Z-score IMC total	217	32,22	,09
Z-score IMC [12-15[	76	13,66	,01
Z-score IMC [15-18]	141	8,98	,07

Les analyses statistiques de comparaison de la différence entre les groupes classés par Z-score de l'IMC ont montré une différence significative avec  $p < 0,05$  entre les différentes classes de Z-score de l'IMC dans la classe d'âge [12-15[, tandis que la valeur du  $p$  était  $> 0.05$  dans l'échantillon global et dans la classe d'âge [15-18].

#### 4.13 Analyse de reproductibilité intra-observateur et inter-observateur

Les données de l'analyse statistique de la reproductibilité intra et inter observateur sont représentés au tableau (Tableau 42).

Tableau 42: Analyse de la reproductibilité intra et inter observateur.

Comparaison	ICC (95% CI)	Interprétation
Intra-observateur	0,98 (0,98–0,99)	Excellente reproductibilité
Inter-observateur	0,97 (0,96–0,97)	Excellente reproductibilité

L'analyse de la reproductibilité inter observateur a montré un coefficient de corrélation intra-classe ICC= 0,98(0,98–0,99) avec  $p < 0.001$ .

Les mêmes valeurs ont été observées pour la reproductibilité inter observateur avec un coefficient de corrélation intra-classe ICC = 0,97 (0,96–0,97) et  $p < 0.001$ .

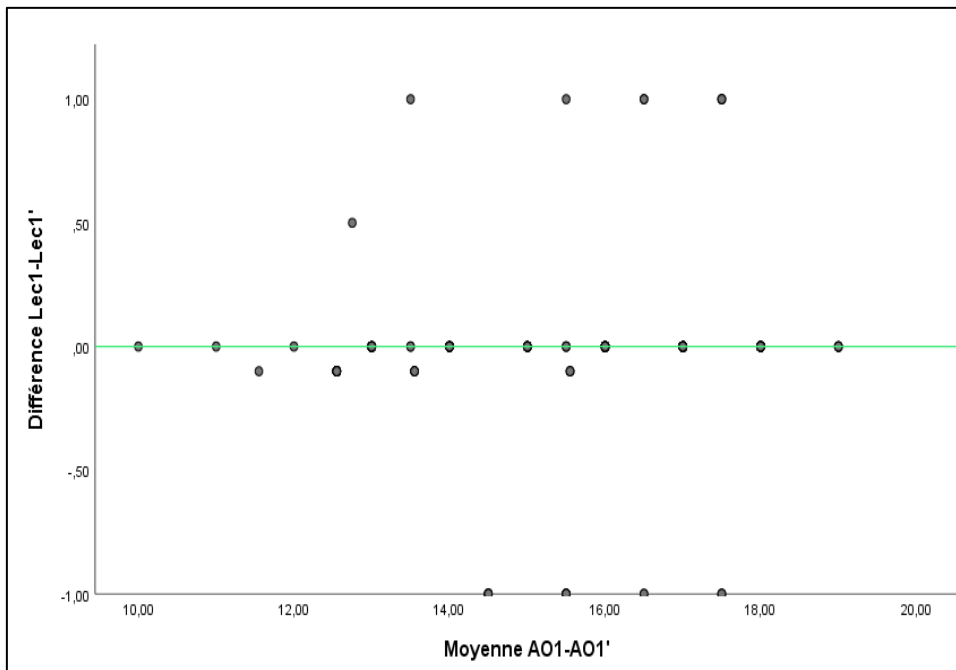


Figure 83: Diagramme de dispersion de Bland Altman de la reproductibilité intra-observateur.

L'analyse de concordance intra-observateur par diagramme de Bland-Altman avait montré une meilleure dispersion des différences étroite autour de 0.

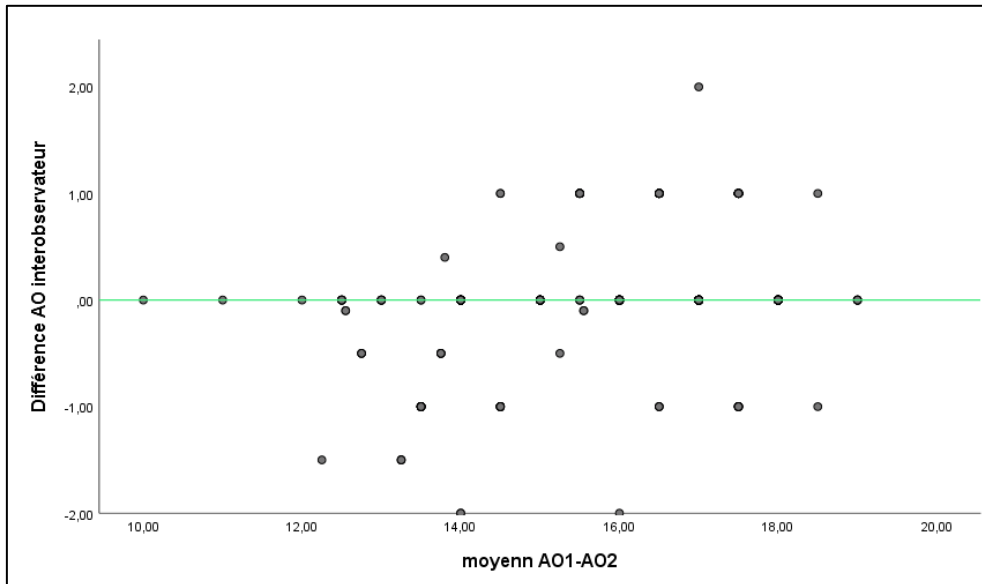


Figure 84: Diagramme de dispersion de Bland Altman de reproductibilité inter-observateur.

L'analyse de la reproductibilité inter observateur par le diagramme de Bland Altman avait montré une dispersion assez remarquable au tour de la moyenne de la différence AO1-AO2.

CHAPITRE 5  
**DISCUSSION**

## 5 Discussion

---

L'expertise médico-légale en matière d'estimation d'âge trouve son importance dans la résolution des problèmes où l'âge chronologique ne peut être déterminé de manière fiable, notamment chez les individus dépourvus de documents attestant leur âge civil ou lorsque ceux-ci sont contestés.

Cette expertise apporte un éclairage, basé sur des données scientifiques objectifs, aux magistrats, aux travailleurs sociaux et aux autorités administratives.

Sur le plan judiciaire, l'âge osseux est déterminant pour établir la majorité pénale. En Algérie, comme dans la majorité des systèmes juridiques, la distinction entre mineur et majeur emporte des conséquences importantes : le mineur bénéficie d'une responsabilité pénale atténuée, de procédures spécifiques et de peines réduites, alors qu'un majeur est pleinement justiciable selon le droit commun.

Une simple variation d'un an dans l'estimation médico-légale peut donc transformer la nature de la peine encourue ou le type d'établissement de détention.

Sur le plan administratif et social, cette évaluation conditionne la protection juridique et sociale des enfants en situation de vulnérabilité. C'est notamment le cas des jeunes migrants isolés, souvent sans papiers, qui déclarent être mineurs pour bénéficier d'une prise en charge spécifique. Dans ces situations, la décision du médecin légiste influence directement l'accès à un hébergement, à une scolarisation ou à une régularisation. Une erreur d'expertise peut donc entraîner des conséquences humaines irréversibles, telles que l'exclusion de la protection de l'enfance ou l'expulsion vers le pays d'origine.

Sur le plan sportif, enfin, la détermination de l'âge osseux vise à préserver l'équité entre les compétiteurs. Dans plusieurs disciplines, des cas de fraudes d'âge ont été révélés, incitant les fédérations internationales à recourir à l'estimation de l'âge osseux par la radiographie du poignet pour authentifier la catégorie d'âge des athlètes.

Toutefois, la maturation osseuse dépend de facteurs génétiques, nutritionnels, hormonaux et environnementaux, qui varient selon les régions du monde.

De ce fait, l'âge osseux ne doit jamais être interprété isolément. Les recommandations internationales préconisent une approche pluridisciplinaire, combinant les données radiologiques avec l'examen clinique, la dentition, l'état pubertaire et le contexte socio-

historique de l'individu. Cette approche intégrée permet de réduire les erreurs d'interprétation et d'assurer un meilleur respect des droits fondamentaux, notamment ceux des mineurs.

En définitive, l'évaluation médico-légale de l'âge osseux constitue un outil à la fois scientifique et humanitaire. Scientifique, car elle repose sur des méthodes rigoureuses et normalisées ; humanitaire, car elle engage directement le destin juridique, social et moral de la personne examinée. Sa fiabilité dépend donc moins de la technique elle-même que de la prudence, la neutralité et la compétence du médecin légiste dans l'interprétation des résultats. L'enjeu n'est pas seulement de donner un âge, mais de rendre une expertise équitable, respectueuse de la dignité humaine et conforme aux impératifs de justice.

En matière d'estimation d'âge chez le sujet vivant la précision et la fiabilité sont déterminantes dans les sciences médico-légales. Une évaluation erronée de l'âge biologique peut avoir de graves conséquences lorsqu'elle est utilisée pour établir une identité [158].

L'utilisation de la radiographie pour évaluer le développement du squelette de la main est presque aussi ancienne que la radiographie elle-même. Cela n'a rien d'étonnant puisque la première radiographie aux rayons X, prise le 22 décembre 1895, de l'histoire de l'humanité est celle de la main d'Anna Bertha Ludwig, l'épouse de Wilhelm Röntgen, le découvreur des rayons X (qui recevra pour cela le premier prix Nobel de physique, en 1901).

En 1898, à peine trois ans après la découverte des rayons X, l'orthopédiste J. Poland a publié la première description des changements squelettiques de la main. Dans son ouvrage intitulé *Skiagraphic Atlas Showing the Development of Bone of the Wrist and Hand* [159], il présente des réimpressions positives (skiagraphs) de radiographies de la main de 19 enfants britanniques, âgés de 1 à 17 ans, en décrivant chaque radiographie de manière très détaillée.

Il a ainsi précédé Pryor (1907) et Rotch (1909), qui sont généralement reconnus comme étant les premiers à décrire les changements dans l'aspect radiologique des os de la main et du poignet [160], l'utilisation de ces changements pour l'estimation de l'AC, dans un contexte médico-légal, a été recommandée par le groupe pluridisciplinaire International, l'**AGFAD** (Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik) ou « Study Group on Forensic Age Diagnostics ».

D'ailleurs des recommandations de bonne pratique pour l'estimation de l'âge chez le vivant ont été établies par l'AGFAD et qui sont régulièrement mises à jour, la dernière publication datant de 2008 [161]. Elles précisent la démarche à suivre et les méthodes à employer pour estimer

l'âge d'un individu dans ce contexte, en tenant compte des contraintes éthiques et de la notion de majorité pénale.

- Tout d'abord est réalisé un examen physique avec prise du poids, de la taille, relevé des caractères sexuels et identification de tout trouble du développement.
- Dans le même temps est effectué un examen dentaire.
- Ensuite sont acquises une radiographie de la main et du poignet gauche et un panoramique dentaire.
- Enfin, si le développement du squelette de la main est terminé, une imagerie des clavicules (radiographie ou tomодensitométrie) doit être réalisée.

Ces recommandations spécifient que les méthodes doivent être utilisées ensemble pour augmenter la précision de la détermination et donnent une liste d'études considérées comme études de références et les critères permettant de les considérer comme telles pour les populations qui ne partagent pas les mêmes facteurs ethniques, socio-économiques et environnementaux, et qui impactent le processus de développement de l'être humain [9].

Notre étude est basée sur l'atlas de Greulich et Pyle, considéré comme la méthode d'estimation de l'âge la plus couramment utilisée dans le monde [8, 9]. Elle ne nécessite qu'une radiographie de la main et du poignet, ce qui limite l'exposition aux rayonnements.

Le grand nombre de publications consacrées à cette méthode depuis plus de 50 ans (plus de 220 citations dans PubMed) souligne son étonnante longévité, contrairement à la plupart des autres méthodes d'estimation [11, 91, 162] .

Cette méthode n'a fait l'objet d'aucune évaluation sur la population algérienne, l'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'applicabilité de l'Atlas de Greulich et Pyle sur un échantillon de la population Algérienne entre 12 et 18 ans, afin d'envisager son utilisation dans un contexte médico-légal.

Sur le plan biodémographique notre échantillon était constitué de 258 enfants des deux sexes, 142 garçons et 116 filles, dont l'âge chronologique est bien connu, originaires de différentes régions du pays. Ce qui fait un échantillon varié et représentatif de cette tranche d'âge (12 ans -18 ans).

L'âge moyen global de  $15,20 \pm 1,55$  ans. L'âge des enfants masculins était compris entre 12 et 18 ans, avec un âge moyen de  $14,74 \pm 1,47$  et celui des individus féminins entre de 12 à 18 ans, avec un âge moyen de  $16,06 \pm 1,23$  ans. L'échantillon féminin avait une moyenne d'âge légèrement supérieure à celle de l'échantillon masculin, cette différence est expliquée par la

répartition hétérogène par sexe de l'effectif, avec une légère prédominance masculine dans l'échantillon global avec un sex-ratio égal à 1,22, tandis qu'une prédominance féminine dans la classe d'âge 15-18 avec 63,8 % de filles contre 36,2 % de garçons. Cette variation de répartition est en rapport directe avec des facteurs de disponibilité des candidats, néanmoins elle ne semble pas impactée la comparabilité entre les deux groupes.

L'origine des individus inclus dans notre étude était à moitié du centre du pays. Ce fait est lié aux structures de recrutement choisies, 44% sont originaires de l'est et de la région Naili, à part égales. La région sud et la région ouest du pays représentent respectivement 1,6% et 0,8% soit 4 enfants du sud et 2 enfants de l'ouest, C'est la raison pour laquelle les deux dernières régions n'étaient pas incluses dans l'analyse de l'influence de l'origine géographique sur l'AO.

**Une analyse de la distribution des variables** était étudiée, avant d'entamer la comparaison entre l'AO et l'AC. Le test de Kolmogorov-Smirnov a montré que les deux variables ne suivent pas une distribution normale ( $p < 0,0001$ ).

Par conséquent, des tests non paramétriques adaptés à des données non normales ont été utilisés pour les comparaisons et corrélations.

**L'analyse de la corrélation de Spearman entre l'AO et l'AC** montrait une corrélation moyenne à forte dans l'échantillon global avec  $p < 0,001$  et  $\rho = 0,86$ , cette corrélation est également observée pour les résultats selon le sexe soit  $\rho = 0,88$ ,  $p < 0,001$  pour les garçons,  $\rho = 0,66$ ,  $p < 0,001$  pour les filles. Cette corrélation est déjà montrée par une étude Algérienne dans l'est du pays, qui a été menée par un anatomiste Algérien, Abdeljalil Abdallah et ses collègues du Centre Hospitalo-Universitaire d'Annaba, sur un échantillon de 92 enfants et adolescents (48 garçons, 44 filles), âgés de 7 mois à 14 ans, avec une corrélation positive entre l'AO et l'AC chez les filles ( $r=0,95$ ) un peu mieux que chez les garçons ( $r=0,92$ ).

Ces résultats sont en accord avec toutes les études qui ont été menées dans ce sens notamment l'étude référence [10] par Greuliche et Pyle ainsi d'autres études plus récentes comme la méta-analyse faite par P. S. Dalberg et al, incluant 17 études de différents pays [163] traitant l'applicabilité de cet Atlas sur leurs populations, cette méta-analyse a démontré qu'il existe une forte corrélation entre l'âge osseux et l'âge chronologique .

Même si  $AO \neq AC$ , le fait que les deux évoluent de manière parallèle renforce la fiabilité relative de l'atlas pour évaluer la progression osseuse.

**Concernant l'analyse de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique** (la différence AO-AC) a été faite pour chaque âge de 12 à 18 ans chez les deux sexes, elle a montré

une bonne concordance entre les deux âges chez les garçons âgés de 12 à 14 ans avec une médiane de la différence AO-AC égale à 0 et des interquartiles allant de -0.5 à 0.5 pour les 12 et les 13 ans et de -0.5 à 1 pour les 14, une moyenne de  $-0.8 \pm 0.97$  et de  $-0.11 \pm 0.65$  et de  $0.16 \pm 0.94$  ont été respectivement observé chez les garçons âgés de 12, 13 et 14 ans. Plus de 80% des garçons de 12 et de 13 ans et 57% des enfants de 14 ans avaient une différence AO-AC comprise entre -0.5 et 0.5 ce qui est tolérable, **indiquant la possibilité d'utiliser l'AGP chez les garçons appartenant à cette classe d'âge [12-15].**

La médiane de la différence AO-AC des garçons âgés de 15, 16 et 17 ans est de 0.5 et de 1 pour les garçons âgés de 18 ans. Les moyennes variaient entre 0.5 et 0, 66 avec des écart-types supérieurs à 0.5, atteignant 1.47 chez les garçons de 15 ans témoignant d'une grande variabilité interindividuelle.

La moitié des garçons âgés de 15 à 17 ans et les deux tiers de ceux âgés de 18 ans avaient une différence comprise entre 1 et 4, **supposant une surestimation de l'âge chronologique par l'âge osseux.**

La médiane de cette différence chez les filles de 12 ans était égale à 0 pour un effectif de 3 filles, par ailleurs notre échantillon comprenait seulement une fille âgée de 13 ans. Ce qui est insuffisant comme effectif pour ces deux âges afin de discuter l'applicabilité de l'AGP, malgré qu'une seule fille âgée de 12 ans avait une différence AO-AC +0.5 les deux autres avaient une différence de +1,5 et -1 et la différence de celle âgée de 13 était de +1.

La médiane de la différence AO-AC était de 1 pour les filles de 14, 15 et 16 ans et de 0.5 pour celles âgées de 17 ans. La moyenne de la différence AO-AC des filles de 14 ans, 15 ans et de 16 ans était respectivement de  $1.33 \pm 0.51$ ,  $1.14 \pm 0.96$ ,  $0.84 \pm 0.76$ .

La totalité des filles âgées de 14 ans et deux tiers des filles âgées de 15 et 16 ans avaient une différence AO-AC comprise entre 1 et 4, Ce qui suggère une surestimation de l'âge chronologique par l'âge osseux selon l'AGP, d'au moins un an, ce qui est possible de déclarer plus de 60 % des filles de moins de 16 ans comme étant plus de 16 ans, en leur privant ainsi de leurs droits réservés aux enfants de moins de 16 ans, notamment en matière pénale.

La médiane de la différence AO-AC était de 0.5 et 0 chez les filles âgées respectivement de 17 et 18 ans avec 60% des filles de 17ans et 90% de 18 ans avaient une différence comprise entre -0.5 et 0.5, indiquant que l'applicabilité de l'AGP est bonne pour ces deux âges, mais cette phase représente la fin de la croissance osseuse avec une fusion complète de l'épiphyse radiale à partir de 17 ans et une différence nuancée entre 17 et 18 ans, basé seulement sur la cicatrice

épiphysaire, laissant nous dire que l'AGP pour cette tranche d'âge manque de précision et d'utilité pour estimer l'âge des filles en fin de croissance à savoir celles de 17 ans de 18 ans, notamment lorsqu'on cherche la majorité civile qui est de 19 ans.

#### **A propos de l'analyse de la concordance entre l'âge osseux et l'âge chronologique :**

Une analyse statistique de la concordance entre l'AO et l'AC était faite par le test de Wilcoxon des rangs qui revenait en faveur d'une bonne concordance entre l'AO et l'AC pour les garçons de la classe d'âge [12-15[ avec  $p=0,24$  et une médiane égale à  $0 (-0,5 - 0,5)$ , indiquant l'absence de différence entre l'âge chronologique et l'âge osseux estimé par l'AGP, ce qui est cohérent avec les résultats de l'analyse de la différence AO-AC, laissant nous confirmer l'applicabilité de l'AGP chez les garçons de cette tranche d'âge.

Tandis que la différence était significative pour les garçons de la classe d'âge [15-18] et pour toutes les filles de la totalité de l'échantillon avec  $p<0,05$ . En confirmant la surestimation de l'AC par l'AGP pour les garçons âgés de 15 à 18 ans et les filles de 14 à 16 ans et la prudence pour les filles de 17 et 18 ans, imposant le recours à d'autres techniques d'estimation de l'AO.

Nos résultats s'accordent avec les résultats de certaines études qui ont montré que l'AO tend à être plus avancé que l'AC à l'image de l'étude de Pape et al sur un échantillon Allemand [164], la même différence a été observée chez les enfants pubères d'origine américaine, écossaise et turque [165-167], en raison d'une maturation squelettique accélérée [168, 169].

L'analyse de l'erreur absolue entre les garçons et les filles et entre les classes d'âge montrait une différence significative entre les deux sexes de la classe d'âge [12-15[ au début de la puberté ce qui s'accorde avec les résultats du test de Wilcoxon, tandis que on n'a pas noté une différence entre les erreurs absolues pour les deux sexes de la classe d'âge (15-18), car il y'a une surestimation pour les deux.

L'analyse de la concordance entre l'âge osseux (AO) estimé selon l'atlas de Greulich et Pyle et l'âge chronologique (AC) a été approfondie à l'aide du diagramme de Bland-Altman. Permettant de visualiser le biais systématique entre les deux mesures et d'évaluer les limites d'accord, c'est-à-dire l'étendue dans laquelle se situent la majorité des différences individuelles.

Dans notre échantillon, le diagramme a mis en évidence un biais positif qui s'approche du zéro  $0,03 \pm 0,84$  pour les garçons de la classe d'âge [12-15[, indiquant une bonne concordance entre l'AO et AC. Un biais positif moyen, indiquant une surestimation systématique de l'âge osseux

par rapport à l'âge chronologique pour les filles et pour les garçons de la classe d'âge (15-18). Cette surestimation est cohérente avec les résultats précédents de l'analyse de la différence AO-AC et du test de Wilcoxon et des écarts absolus, elle s'accorde aussi avec certaines études, à l'instar de l'étude de Chiang et al 2005 [170] sur un échantillon Taïwanais, il montrait une surestimation de l'AO estimé par l'Atlas de GP à partir de 9 ans pour les filles et à partir de 12 chez les garçons avec une moyenne de différence la plus importante entre 15 et 16 ans soit  $AC-AO = -1.28 \pm 1.20$ .

De plus, la dispersion croissante des points pour les âges chronologiques plus élevés suggère que la fiabilité de l'atlas diminue avec l'âge, ce qui a également été observé dans des études précédentes comme l'étude d'Ontell et al., 1996 [9]

Une étude a été faite par Chaumoire et al [171] en 2007 qui traitait l'estimation de l'âge osseux (AO) par l'AGP de 3 échantillons contemporains français, québécois et marocain, ce dernier était composé de 645 enfants (296 garçons et 349 filles âgés de 6,6 à 21 ans, moyenne d'âge 14 ans) les résultats montraient un retard de maturation osseuse prédominant chez les garçons (âge osseux moyen inférieur à l'âge civil de  $-0,6$  an).

Les tableaux suivants représentent une comparaison des moyennes de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique de chaque âge de 12 à 18 ans par rapport aux moyennes de cette différence observées dans les différentes études faites à travers le monde et qui concernaient différentes populations qui ne partageaient pas les mêmes caractéristiques ethnique, socio-économiques, nutritionnelle, les données de la différence entre l'âge chronologique et l'âge osseux ont été déjà comparées dans une étude de méta-analyse faite par Allemand Pål Skage Dahlberg et al [163].

Tableau 43: comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 14 ans.

Population	Garçons			Filles		
	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type
<b>Notre étude</b>	<b>42</b>	<b>+0.16</b>	<b>[-0.78, 1.1]</b>	<b>6</b>	<b>+1.33</b>	<b>[0.82, 1.87]</b>
Chinoise [172]	27	+0.75	[0.39, 1.1]	9	+0.51	[-0.10, 1.12]
Pakistanaise [173]	20	+0.70	[0.07, 1.33]	7	<b>+1.48</b>	<b>[-0.14, 3.10]</b>
Espagnole [37]	3	+0.31	[-0.65, 1.27]	3	+0.5	[-0.05, 1.05]
Indienne [174]	30	-0.19	[-0.71, 0.33]	30	+0.51	[-0.21, 1.23]
Turque [167]	40	-0.28	[-0.74, 0.18]	36	+1.10	[0.80, 1.40]
Canadienne [175]	35	-0.07	[-0.38, 0.24]	29	+0.75	[0.38, 1.12]

Tableau 44: comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 15ans.

Population	Garçons			Filles		
	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type
<b>Notre etude</b>	<b>19</b>	<b>+0.63</b>	<b>[-0.84, 2 .1]</b>	<b>25</b>	<b>+1.14</b>	<b>[0.18, 2.1]</b>
Chinoise	12	+0.64	[-0.20, 1.48]	8	+1	[0.29, 1.91]
Pakistanaise	17	+0.47	[-0.44, 1.38]	5	<b>+1.48</b>	<b>[0.14, 2.82]</b>
Indienne	30	-0.58	[-1.45, 0.29]	30	+1.12	[0.74, 1.50]
Turque	28	+0.88	[0.29, 1.47]	25	+0.39	[-0.02, 0.80]
Canadienne	11	+0.47	[-0.30, 1.24]	--	--	--

Tableau 45: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 16 ans.

Population	Garçons			Filles		
	N	Moyenne AO-AC	Ecart -type	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type
<b>Notre étude</b>	<b>23</b>	<b>+0.5</b>	<b>[-0.4, 1.4]</b>	<b>47</b>	<b>+0.84</b>	<b>[0.08, 1.6]</b>
Chinoise	19	+0.56	[-0.05, 1.17]	7	+0.99	[0.62, 1.36]
Pakistanaise	26	+0.65	[0.06, 1.24]	6	+0.21	[-1.18, 1.60]
Indienne	32	-1.21	[-1.60, -0.82]	28	+0.50	[0.09, 0.91]
Turque	32	+0.98	[0.60, 1.36]	32	+0.95	[0.56, 1.34]
Canadienne	32	+0.65	[0.23, 1.07]	33	+0.54	[0.27, 0.81]

Tableau 46: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 17 ans.

Population	Garçons			Filles		
	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type
<b>Notre étude</b>	<b>17</b>	<b>+0.58</b>	<b>[-0.08, 0.24]</b>	<b>23</b>	<b>+0.28</b>	<b>[-0.42, 0.98]</b>
Chinoise	8	0.82	[0.56, 1.08]	7	-0.01	[-0.60, 0.58]
Pakistanaise	19	-0.24	[-1.05, 0.57]	8	+0.70	[0.31, 1.09]
Indienne	30	+0.53	[0.2, 0.94]	26	+0.51	[0.31, 0.71]
Turque	27	+0.97	[0.66, 1.24]	23	+0.17	[-0.07, 0.41]
Canadienne	31	+0.60	[0.25, 0.95]	16	+0.10	[-0.28, 0.48]

Tableau 47: Comparaison entre la moyenne AO-AC de notre étude et les moyennes de cette différence de différentes études dans le monde chez les enfants de 18 ans.

Population	Garçons			Filles		
	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type	N	Moyenne AO-AC	Ecart-type
<b>Notre étude</b>	<b>6</b>	<b>+0.66</b>	<b>[0.15, 1.17]</b>	<b>11</b>	<b>-0.09</b>	<b>[-0.39, 0,21]</b>
Chinoise	9	+0.64	[0.22, 1.06]	3	-0.07	[-0.51, 0.37]
Pakistanaise	17	-0.87	[-1.58, -0.16]	4	-0.33	[-1.03, 0.37]
Indienne	32	-0.71	[-1.23, -0.19]	30	-0.54	[-0.70, -0.38]
Turque	18	-0.02	[-0.56, 0.52]	17	-0.43	[-0.70, -0.16]
Canadienne	35	-0.01	[-0.26, 0.24]	24	-0.12	[-0.42, 0.18]

La moyenne de la différence AO-AC, dans notre population d'étude, chez les filles de 14, 15 et 16 ans est considérablement supérieure à celle des garçons du même âge, témoignant que la surestimation de l'âge chronologique par l'âge osseux selon l'AGP est plus importante chez les filles que celle chez les garçons de cette tranche d'âge voir (Tableau 44, Tableau 45, Tableau 46). Tandis que ces données s'inversent à partir de 17 ans, ce qui est expliqué par la fusion complète des cartilages de conjugaisons chez les filles à partir de l'âge de 17 ans.

Cette quasi-stagnation des images radiologiques rend difficiles la distinction entre les âges par l'AGP qui est limité à 18 ans.

Ces constatations rejoignent plusieurs études, par exemples et l'étude Zafar, A.M, sur une population pakistanaise, a montré une différence AO-AC la plus élevée chez les filles de 14 ans et de 15 ans suivie de la population de notre étude. L'étude de Griffith, J et al, sur une population chinoise, s'accorde de près avec notre étude où elle a marqué une moyenne de la différence AO-AC la plus élevée chez les filles de 15 et 16 ans pour qu'elles s'approchent du 0 chez les de 17 et 18 ans.

Pour les garçons, la moyenne commence à augmenter à partir de l'âge de 15 ans ou elle dépasse 0.5 ans, témoignant d'une surestimation remarquable de l'âge chronologique par l'AGP, par contre cette différence est acceptable pour les enfants de 13 et 14 ans voir tableau (Tableau 20, Tableau 23), avec une légère tendance vers la sous-estimation avec une moyenne de la différence AO-AC à -0.8 pour les enfants de 12 ans dont la différence est comprise entre -0.5 et +0.5 voir (Tableau 22), ce qui reste acceptable.

En comparant notre étude aux différentes études internationales, on note que nos résultats s'accordent bien avec l'étude de Griffith, J d'un échantillon de la population chinoise dont les moyennes de la différence AO-AC s'approchent de près des nôtres, cette différence est considérablement positive, dans les populations d'études suscitées dans les tableaux (Tableau 46-Tableau 47- Tableau 47), témoignant d'une surestimation d'au moins 0.5 ans en moyenne dans la plupart des études, sauf dans la population Indienne ou une sous-estimation de l'âge chronologique a été observée pour les garçons.

À l'inverse de nos résultats, une étude sur un échantillon de la population marocaine, (280 garçons et 343 filles, âgés de 6.6 ans à 18.8 ans), évaluant la relation entre le statut socio-économique et l'indice de masse corporelle et la maturation squelettique mené par Chaumoire et al [42] chez les enfants de Marrakech a montré un retard de la maturation osseuse dans l'échantillon global de l'étude avec une moyenne de la différence AO-AC=  $-0,56 \pm 1,29$ .

Une autre étude a été menée en Espagne par P.M. Garamendi et al [176] , sur un échantillon de 114 immigrés de sexe masculin d'origine marocaine âgés de 13 et 25 avec une moyenne d'âge chronologique de  $18.01 \pm 2.03$ , et une moyenne de la différence AO-AC de  $-1.07 \pm 1.76$  témoignant d'un retard de maturation osseuse et d'une sous-estimation de l'AC par l'AGP et une grande variabilité interindividuelle avec un écart-type de 1.76.

Chaumoire et al [177] ont mené une étude sur un échantillon multi-ethnique de 2614 individus (1423 garçons and 1191 filles) âgés de 1 à 21 ans, la moyenne de la différence AO-AC était de -0.18 ans pour les garçons et 0.06 ans pour les filles.

L'analyse de la régression linéaire a montré une relation significative entre l'âge chronologique et l'âge osseux, malgré un sus décalage de ce dernier, permettant d'avoir une équation reliant les deux variables. Néanmoins une étude plus profonde, incluant d'autres tranche d'âge et complétant cet échantillon notamment la tranche d'âge de 12 à 14,5 de filles, demeure indispensable pour avoir une formule plus représentative.

**Une analyse de l'impact de l'origine géographique sur la maturation osseuse** était faite d'abord sur l'échantillon globale puis par classe d'âges, les résultats montraient une différence significative avec  $p < 0,05$  dans l'échantillon globale, suggérant qu'il y a un impact de l'origine géographique sur le développement osseux. En revanche ce test devient non significatif dans les sous-groupes d'âges qui peut être en rapport avec le manque de la puissance statistique dans les sous-groupes par diminution de l'effectif ou par un effet cumulatif de cet impact sur la totalité de l'échantillon. L'étude de Ontell et al. (1996) fournit une comparaison pertinente : elle montre que, dans une population ethniquement diverse, l'AGP tend à surestimer l'âge osseux

chez certaines ethnies (Hispaniques, Asiatiques, Noirs selon le sexe), particulièrement à l'adolescence, avec des écarts de l'ordre de 9 à 11 mois.

Les mêmes résultats ont été obtenus quant à l'impact du niveau socio-économique sur le développement osseux avec  $p=0,01$  pour l'échantillon globale, signifiant que le niveau socio-économique influence la maturation osseuse, tandis que la significativité du test était non représentative dans les sous-groupes.

En Algérie, aucune étude n'a été faite en utilisant l'AGP, néanmoins une étude a été menée, par Abdeljalil Abdallah et al [178], sur un échantillon composé de 92 enfants et adolescents (48 garçons, 44 filles), âgés de 7 mois à 14 ans, originaires de l'est du pays (Annaba), une comparaison entre l'AO et AC a été étudiée à Annaba en utilisant la méthode de Sempé, dont les résultats confirment l'influence du niveau socio-économique sur l'estimation de l'AO.

Nos résultats sont conformes avec la littérature, à titre d'exemple l'étude faite par Chaumoire et al sur un échantillon d'enfants d'origine marocaine [42]. Dans cette étude, une influence individuelle du statut socio-économique a été constatée. Une différence significative de maturation entre les enfants issus de milieux privilégiés et ceux issus de milieux défavorisés a été observée, ces derniers présentant un retard de l'âge osseux.

Une méta-analyse faite par l'allemand Andreas Schmeling et al [49], où ils ont étudié 36 échantillons issus de la littérature pour lesquels le statut d'ossification avait été déterminé à l'aide de la méthode de Greulich-Pyle. Une analyse des données économiques spécifiques (revenu par habitant) et démographiques (espérance de vie à la naissance) comme paramètres de modernisation a été faite. Afin de décrire l'influence de ces paramètres sur le taux d'ossification, ils ont constaté qu'un niveau relativement élevé de progrès économique et de modernisation de la médecine coïncide avec des taux d'ossification élevés, tandis qu'une modernisation relativement faible semble retarder l'ossification.

**L'analyse de la reproductibilité inter et intra-observateur** a montré un coefficient de corrélation intra-classe très significatif  $ICC > 0,95$  pour les deux, avec  $p < 0,001$ , ce qui est très significatif, indiquant une excellente fiabilité entre les deux lectures du même observateur et des observateurs différents. Garamendi et al [176] ont confirmé la bonne reproductibilité inter-observateurs avec un coefficient de corrélation intra-classe de 0.93.

**Les analyses statistiques de comparaison de la différence entre les groupes classés par Z - score de IMC** ont montré une différence significative avec  $p < 0,05$  entre les différentes classes de Z-score de l'IMC dans la classe d'âge [12-15], tandis que la différence n'était pas

significative, avec un  $p > 0.05$ , dans l'échantillon global et dans la classe d'âge [15-18], cette indifférence pourrait être expliquée par l'impact de l'effectif de la 2<sup>ème</sup> classe (en surestimation) qui est majoritaire en nombre d'effectif.

Une étude a été faite par Chaumoire et al [42] sur un échantillon 623 enfants marocain de Marrakech (280 garçons et 343 filles, âgés de 6.6 ans à 18.8 ans), où une relation significative a été mise en évidence entre la maturation squelettique (AO-AC) et le z-score d'IMC de l'enfant chez les deux sexes. L'âge osseux était plus avancé chez les enfants avec un score z plus élevé d'IMC.

### **5.1 Les implications médico-légales**

Est-ce que l'AGP est réellement adapté en tant qu'outil de diagnostic de l'âge (convertissant un paramètre biologique en paramètre chronologique) à des fins médico-légales, et dans quelle mesure cette procédure pourrait être recevable devant un tribunal. En outre, les principaux problèmes liés à l'utilisation de cette méthode à des fins médico-légales résident dans les taux d'ossification très différents entre les individus d'une même population et de populations différentes [179-181], en fonction de divers facteurs : génétique, maladies, statut socio-économique et modernisation de la médecine [49, 182-186], ainsi que sur la fiabilité de la mesure de l'âge squelettique lorsque différentes normes techniques sont utilisées [187]. Le dernier problème lié à l'AGP est que l'âge squelettique maximal pouvant être évalué est de 19 ans pour les hommes et de 18 ans pour les femmes. Ces limites et la difficulté d'interpréter les radiographies d'une main presque ossifiée soulèvent des doutes quant à la fiabilité de la méthode lorsqu'elle est utilisée pour prédire l'atteinte de l'âge légal de l'adulte [188].

Dans notre étude, nous avons observé plusieurs cas où l'âge chronologique était surestimé par l'AGP, notamment pour les âges critiques ayant des répercussions directes sur l'application de la loi appropriée à l'âge.

En matière pénale le mineur de moins de dix (10) ans ne peut faire l'objet de poursuites pénales. Le mineur de dix (10) ans et de moins de treize (13) ans ne peut faire l'objet que de mesures de protection ou de rééducation. "L'article 49 du code pénal Algérien (CPA) "

Le mineur de treize à seize ans encourt une responsabilité pénale atténuée. C'est à partir de cet âge que l'enfant acquiert la notion de discernement, comme stipule l'article 42 du CCA.

Entre 16 et 18 ans l'enfant bénéficie d'une atténuation de peine tant qu'il n'a pas atteint l'âge de 18 ans révolus (l'article 442 du CPPA).

Ce tableau résume les cas où il y'a une sur ou sous-estimation qui pourraient changer carrément les procédures.

Tableau 48: la fréquence des sous et de la surestimation ayant des répercussions judiciaires.

Age chronologique	N	Estimé avoir $\geq 16$ et $< 18$ ans	Estimé avoir $\geq 18$ ans	Estimé avoir $< 16$ ans	Estimé avoir $< 18$ ans
14 ans	48	3	--	--	--
15 ans	44	18	6	--	--
16-17	70-35	--	34	4	--
18	17	--	--		1

Selon l'AGP nous avons constaté que plus de la moitié des enfants âgés de 15 ans étaient déclarés avoir plus de 16 ans, et le tiers des enfants âgés de 16 ans à 17 étaient déclarés comme étant des personnes majeures, voir tableaux (Tableau 22, Tableau 48).

Notre étude portait sur l'évaluation de l'âge chronologique chez l'adolescent vivant, âgé entre 12 et 18 ans par l'AGP, néanmoins il est important à noter que cet Atlas peut être utilisé pour estimer l'âge au décès chez un cadavre intact pour évaluer l'état de maturation des os de la main et du poignet, complété par d'autres méthodes dentaires et celles qui exploitent les épiphyses. Concernant les cadavres appartenant à des sujets adultes ou lorsque seuls des ossements sont disponibles, d'autres méthodes apportent leurs bénéfices, comme l'étude du processus de maturation et de dégénérescence de la symphyse pubienne, l'analyse de la fermeture des sutures crâniennes, l'usure des surfaces articulaire, dont l'utilisation dépend de l'état du cadavre ou des ossements disponibles.

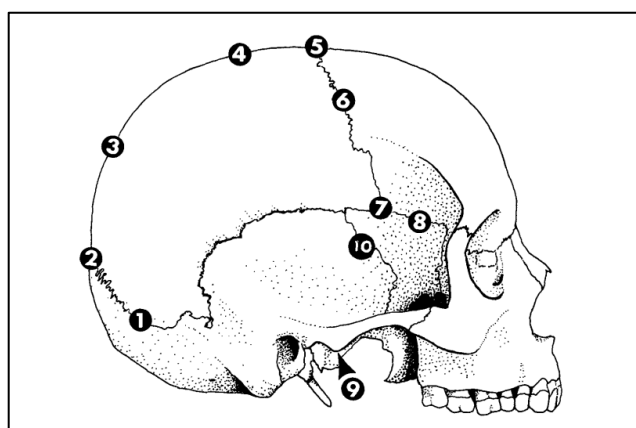
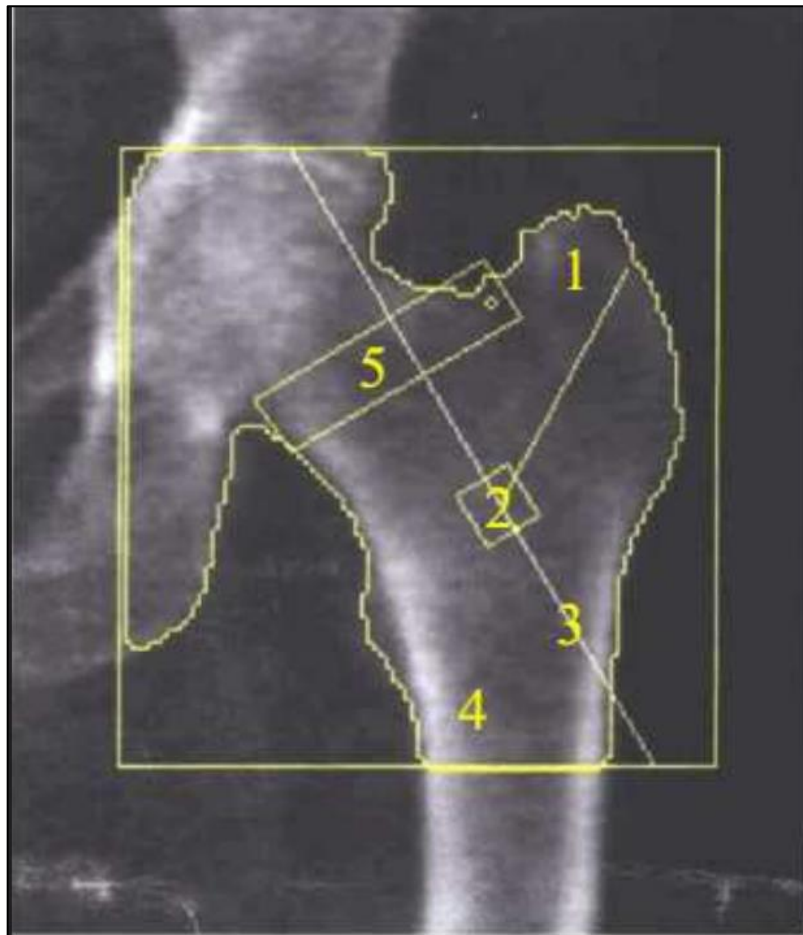


Figure 85: Dix sites d'observation (régions) où la fermeture de la suture est lue [125].

Certains auteurs suggèrent l'emploi de la densité minérale osseuse comme un indicateur additionnel de l'estimation de l'âge au décès, chez l'adulte. Castillo RF, Ruiz Mdel C, ont démontré que la densité minérale osseuse, quantifiée par la méthode DEXA ( Dual-Energy X-ray Absorptiometry), représente une technique prometteuse pour estimer le sexe et l'âge en anthropologie médico-légale [189].



*Figure 86 : La mesure de la densité minérale osseuse de l'extrémité proximale du fémur par (DEXA).*

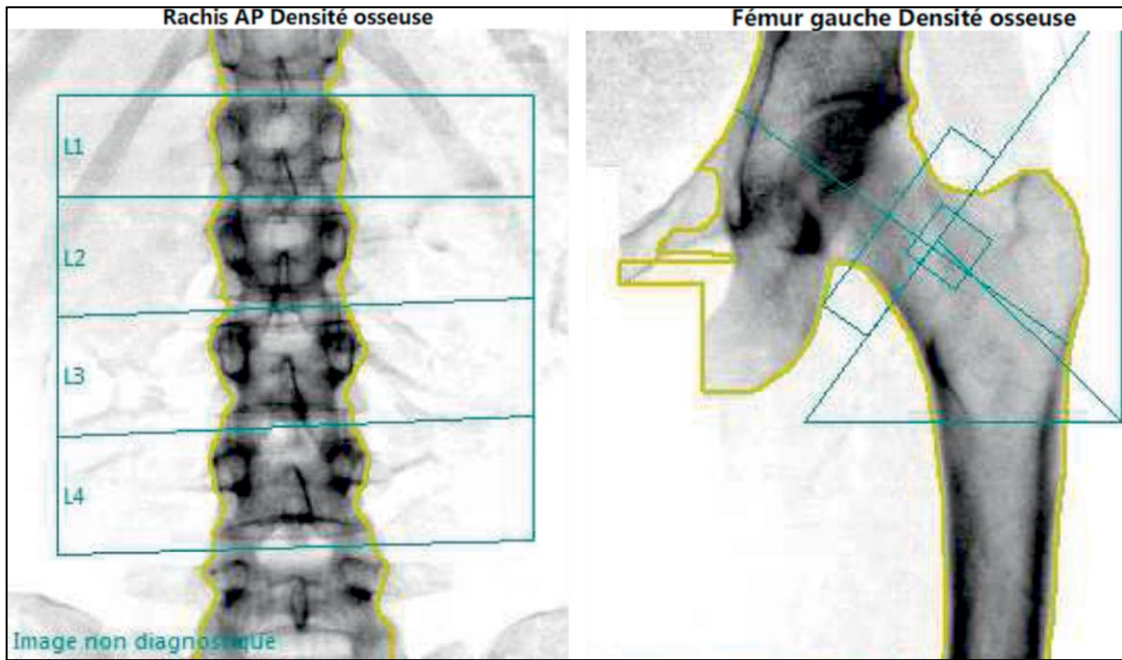


Figure 87 : Mesure de la densité minérale osseuse : images de DXA (rachis lombaire et extrémité supérieure du fémur).  
(<https://www.lecofer.org/>)

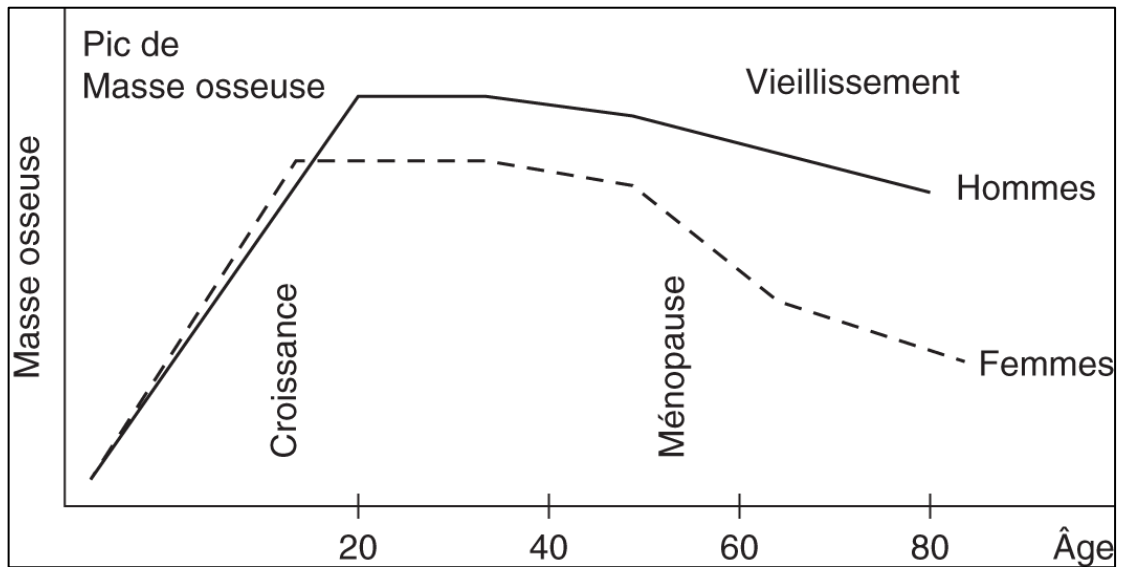


Figure 88 : Évolution de la masse osseuse (<https://www.lecofer.org/>)

L'application de techniques biochimiques, issues de la recherche sur le vieillissement, pourrait contribuer à améliorer l'estimation de l'âge chronologique au décès., la racémisation de l'acide aspartique repose sur la conversion de l'acide L-aspartique, la forme régulière de l'acide aminé présent dans nos protéines, en acide D-aspartique, son image miroir. Les proportions d'acide D-aspartique/acide L-aspartique augmentent avec l'âge, ce qui permet de déterminer l'âge de manière plus précise en combinaison avec les méthodes de l'anthropologie médico-légale [190].

L'examen de la microarchitecture osseuse est considéré comme un outil précieux pour estimer l'âge à partir de différents éléments du squelette. Les méthodes d'estimation de l'âge histologique reposent sur le remodelage osseux, un processus par lequel l'os est constamment renouvelé afin de maintenir son intégrité structurelle et son homéostasie tout au long de la vie adulte. Les canaux vasculaires se forment initialement lorsque les vaisseaux sanguins sont incorporés dans les lamelles circonférentielles (canaux non haversiens). Avec l'âge, le nombre de canaux non haversiens diminue, tandis que le nombre d'ostéons secondaires augmente. Finalement, le nombre d'ostéons atteint une asymptote, occupant tout l'os cortical, et le remodelage continu entraîne une augmentation des fragments d'ostéons. D'autres paramètres, tels que la surface ostéonique et la circularité ostéonique, ont été identifiés comme variant considérablement par rapport à l'âge des individus. Actuellement les méthodes histologiques sur les côtes sont apparues comme une alternative des anciennes méthodes basés sur le fémur, car ces os sont principalement soumis à des mouvements respiratoires similaires chez tous les individus [191].

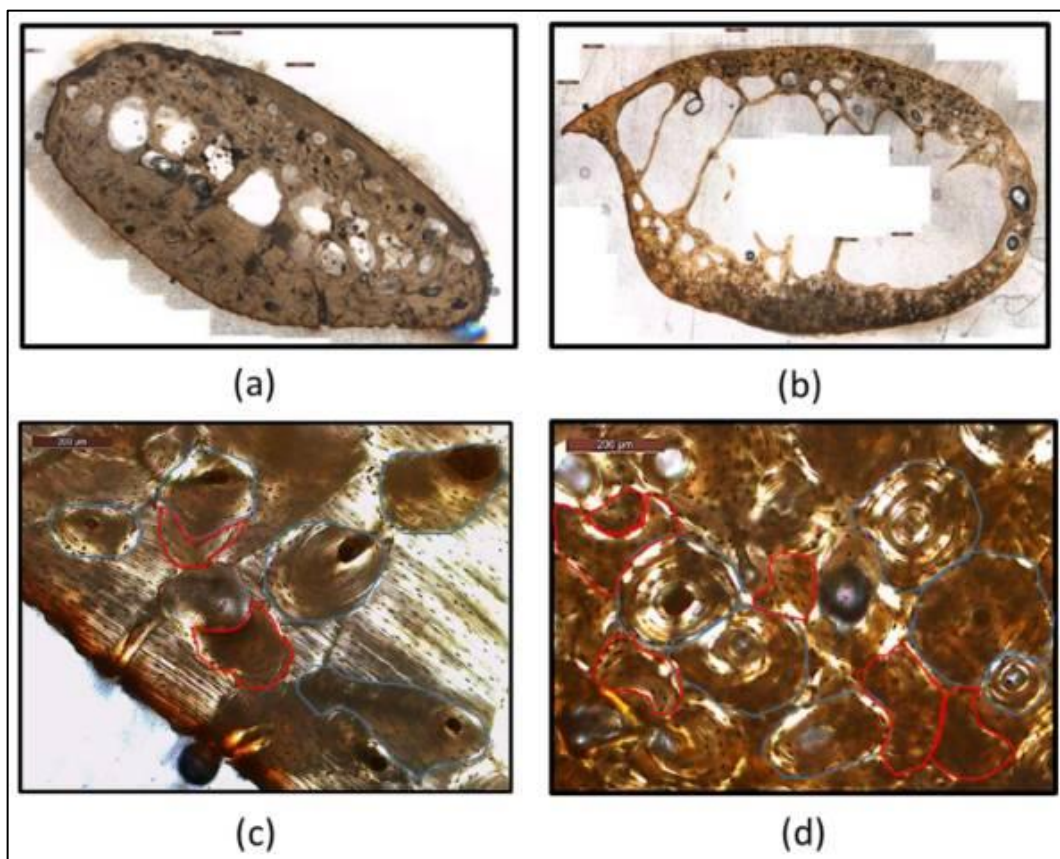


Figure 89 : Différences liées à l'âge dans la microstructure de l'os cortical. Notez les différences d'épaisseur corticale et de densité ostéonique entre la côte 4 (1,5 an) et la côte 2 (69 ans). (a) Coupe transversale de la côte 4 ; (b) coupe transversale de la côte 2 ; (c) côte 4 et (d) côte 2 montrant des exemples d'ostéons intacts (contour bleu) et de fragments d'ostéons (contour rouge) [190].

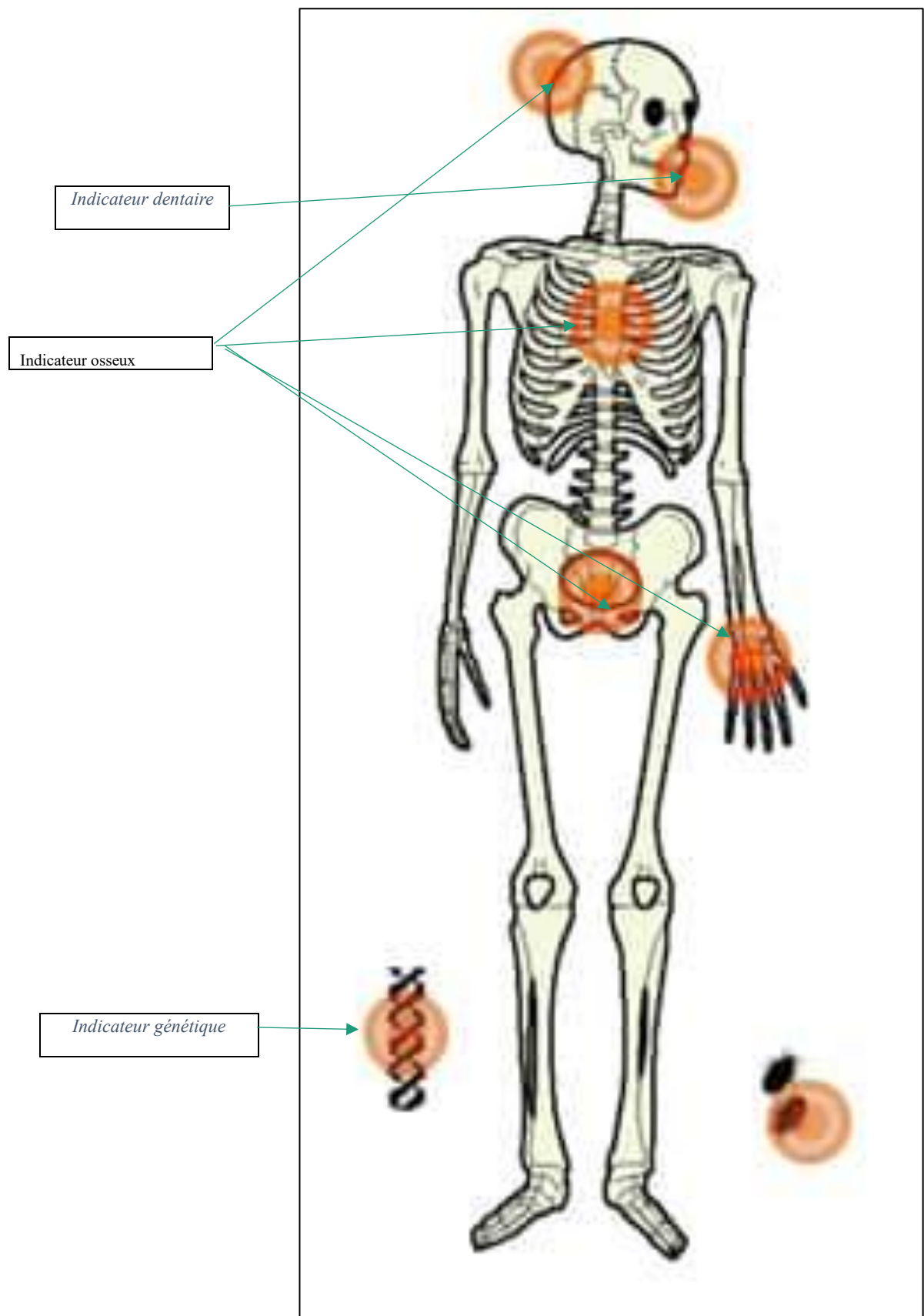


Figure 90 : image illustrant les différents indicateurs de l'âge chronologique

Il est à noter il existe des logiciels tels que Bone Xpert, Med-Bone Age ou BoneView, qui utilisent l'intelligence artificielle pour analyser les radiographies de la main et du poignet à fin d'estimer l'âge osseux de manière rapide et précise, ces logiciels sont très utiles en médecine légale car ils réduisent la variabilité interindividuelle, mais ça reste un outil d'orientation dans une procédure expertale qui commence par un examen physique, adoptant une approche holistique, à fin de réduire les marges d'erreur.

## **5.2 Limites et points forts de l'étude**

Cette étude présente certaines limites. Tout d'abord, la disponibilité restreinte des participants notamment celle des filles âgées de 12 à 14 ans, a réduit d'avoir des classes d'âges équilibré selon le sexe.

En outre la majorité des participants appartenant à un niveau socio-économique moyen, la diversité des profils sociaux est restreinte, La reproduction de cette recherche sur un échantillon plus large, mieux équilibré en termes d'âge et de sexe, de milieux socio-économiques et d'origine géographique connus et diversifiés pourrait permettre de surmonter tout biais involontaire lié à l'échantillonnage.

### **Les points forts de l'étude**

Notre échantillon est très représentatif des âges critiques des deux sexes à savoir l'âge de 15 à 18 ans. Ains l'évaluation de l'influence de l'IMC, de l'origine géographique et du SSE sur la maturation osseuse constitue un point fort de ce travail.

La détermination des écarts-types pour chaque âge apportera un grand bénéfice en matière d'expertise médico-légale.

CHAPITRE 6  
**CONCLUSION**

## 6 CONCLUSION

---

L'évaluation de l'âge chez le sujet vivant constitue une pratique médico-légale qui a connu une hausse remarquable depuis la fin du XXe siècle, en parallèle avec l'augmentation des flux migratoires. En effet, une telle pratique est également applicable au droit pénal, dans le but de répondre aux exigences des procédures judiciaires, lesquelles sont définies en fonction de l'âge de la personne concernée, notamment les âges critiques qui varient d'un pays à l'autre.

En outre, elle présente un intérêt certain dans le cadre du droit civil, dans la mesure où elle permet de répondre aux demandes d'inscription des enfants qui ne figurent pas, à tort, sur le registre de l'état civil.

Dans ce cadre l'évaluation de l'âge osseux constitue une étape incontournable vu que l'AC et l'AO sont étroitement corrélés. L'observation de maturation des os de la main et du poignet en utilisant l'AGP représente l'un des méthodes les plus utilisées dans le monde [8, 9] .

L'objectif principal de notre étude consiste à évaluer l'applicabilité de l'AGP sur notre population âgée de 12 à 18 ans, nos résultats ont montré une bonne corrélation entre l'AO et l'AC et une reproductibilité très acceptable. Cependant des surestimations chez les garçons qui sont âgés de 15 ans et plus et chez toutes les filles spécialement celles de 15 et 16 ans, des surestimations significatives, pouvant atteindre quatre ans de différence, ont été enregistrées, qui peuvent induire un changement majeur des procédures judiciaires, en privant l'enfant de ses droits de protection ou d'atténuation de procédures.

Nous avons constaté, dans notre échantillon, qu'il existe une corrélation entre l'origine géographique, le niveau socio-économique et de l'indice de masse corporelle d'une part et la maturation osseuse d'autre part, par conséquent il est plausible de supposer que les principales raisons d'erreurs de l'estimation de l'âge chronologique à l'aide de l'AGP sont liées aux différents facteurs d'ordre socio-économique, environnementale, nutritionnel et génétique.

**Au terme de ce travail, nous recommandons de :**

- Entamer des études similaires sur des échantillons plus conséquents incluant toutes les tranches d'âges, de 1 an à 19 ans, pour pouvoir avoir un Atlas ajusté à notre population.
- La standardisation et unification des étapes d'expertise médico-légale en matière d'évaluation d'âge chez le vivant, en s'inspirant des recommandations scientifiques internationale.

- Avoir un cadre réglementaire qui gère la pratique médico-légale de l'estimation d'âge chez le vivant.
- Standardiser les rapports d'expertise en exigeant de mentionner les techniques utilisées, et leurs populations d'études ainsi que leurs moyennes et écart-types, et de signaler dans les rapports d'expertise les différences d'ethnie, de niveau socio-économique, de la génétique entre la population de l'individu à expertiser et la population de l'étude ou de la technique.
- Ne se limiter jamais à une seule méthode pour l'estimation de l'âge, les procédures de cette expertise doivent adopter une approche holistique.
- L'expertise ne serait jamais réalisée au détriment de la dignité de l'enfant. Le respect des règles éthiques et déontologiques est indispensable, pour assurer une pratique respectueuse conforme aux valeurs universelles de la médecine.
- Doter les différents services de médecine légale avec des logiciels d'analyse de la radiographie de la main et du poignet.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

---

1. Gabioud, F., *Des méthodes d'évaluation de l'âge d'un être humain*. 2009, Citeseer.
2. Sankoung, S., et al., *Estimation de l'âge dans une population sénégalaise: Efficacité des formules de Chaillet-Demirjian versus la London l'Atlas Tooth*. La Revue de Médecine Légale, 2021. **12**(4): p. 166-172.
3. Cavallo, F., et al., *Evaluation of bone age in children: a mini-review*. Frontiers in Pediatrics, 2021. **9**: p. 580314.
4. Satoh, M., *Bone age: assessment methods and clinical applications*. Clinical Pediatric Endocrinology, 2015. **24**(4): p. 143-152.
5. Ribeiro, C., et al., *Comment nous faisons un âge osseux chez un enfant*. Feuillet de radiologie, 2005. **45**(3): p. 209-216.
6. Bencheneb, A., *LE CODE CIVIL AU PRISME DU DROIT CONSTITUTIONNEL ALGERIEN*. Annales de l'université d'Alger, 2016. **30**(3): p. 10-34.
7. Schmeling, A., et al., *Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations*. International journal of legal medicine, 2000. **113**: p. 253-258.
8. Zerlin, J.M. and R.J. Hernandez, *Approach to skeletal maturation*. Hand clinics, 1991. **7**(1): p. 53-62.
9. Ontell, F., et al., *Bone age in children of diverse ethnicity*. AJR. American journal of roentgenology, 1996. **167**(6): p. 1395-1398.
10. Greulich, W.W. and S.I. Pyle, *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. The American Journal of the Medical Sciences, 1959. **238**(3): p. 393.
11. Chaumoitre, K., et al., *Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance*. European radiology, 2017. **27**: p. 1032-1043.
12. Hjern, A., M. Brendler-Lindqvist, and M. Norredam, *Age assessment of young asylum seekers*. Acta paediatrica, 2012. **101**(1): p. 4-7.
13. Schmeling, A., et al., *Forensic age estimation: methods, certainty, and the law*. Deutsches Ärzteblatt International, 2016. **113**(4): p. 44.
14. pour la Plate-forme, K.F. and M. en Exil, *L'estimation de l'âge des MENA en question: problématique, analyse et recommandations*. 2017.
15. Organization, W.H., *The adolescent health indicators recommended by the Global Action for Measurement of Adolescent Health: Guidance for monitoring adolescent health at country, regional and global levels*. 2024: World Health Organization.
16. DE LA PUBERTÉ, P., *Puberté normale et pathologique*. La revue du praticien, 2006. **56**: p. 1957.
17. Marshall, W.A. and J.M. Tanner, *Variations in pattern of pubertal changes in girls*. Archives of disease in childhood, 1969. **44**(235): p. 291.
18. Serin, J., *Apport de l'Imagerie par Résonance Magnétique du poignet et de la main dans l'estimation de l'âge chez le sujet vivant*. 2014, SCD de l'université de Tours.
19. <ASge Osseux-ATLAS of Hand\_Bone Age.pdf>.
20. Neinstein, L.S., *Adolescent health care: a practical guide*. Vol. 414. 2008: Lippincott Williams & Wilkins.

21. Cameron, N., *Assessment of growth and maturation during adolescence*. *Horm Res*, 1993. **39**(Suppl 3): p. 9-17.
22. Adamsbaum, C., et al., *Âge osseux, intérêt diagnostique et limites*. *EMC-Pédiatrie*, 2005. **2**(1): p. 1-11.
23. Marieb, E.N. and K. Hoehn, *Human anatomy & physiology*. 2007: Pearson education.
24. Tortora, G.J. and B.H. Derrickson, *Principles of anatomy and physiology*. 2018: John Wiley & Sons.
25. Betts, J.G., et al., *Anatomy and physiology 2e*. 2024.
26. Gilsanz, V. and O. Ratib, *Hand bone age: a digital atlas of skeletal maturity*. 2005: Springer.
27. Saladin, K., *The Unity of Form and Function: Anatomy & Physiology*. 2007, New York: McGraw Hill Companies.
28. White, T.D. and P.A. Folkens, *The human bone manual*. 2005: Elsevier.
29. Garn, S.M., *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. *American journal of human genetics*, 1959. **11**(3): p. 282.
30. Cunningham, C., L. Scheuer, and S. Black, *Developmental juvenile osteology*. 2016: Academic press.
31. Schaefer, M., et al., *Juvenile osteology*. 2009: Elsevier.
32. Cunningham, C., et al., *Developmental Juvenile Osteology*. 2000: Academic Press.
33. Devos, P., *Contribution biomécanique à l'analyse cinématique in vivo des mouvements de la main humaine*. 2017.
34. Standring, S., *Gray's Anatomy E-Book: Gray's Anatomy E-Book*. 2021: Elsevier Health Sciences.
35. White, T.D., M.T. Black, and P.A. Folkens, *Human osteology*. 2011: Academic press.
36. Scheuer, L. and S. Black, *The juvenile skeleton*. 2004: Elsevier.
37. Jiménez-Castellanos, J., et al., *Skeletal maturation of wrist and hand ossification centers in normal Spanish boys and girls: a study using the Greulich-Pyle method*. *Cells Tissues Organs*, 1996. **155**(3): p. 206-211.
38. Scheuer, L. and S. Black, *JUVENILE SKELETON*. *Human Osteology: In Archaeology and Forensic Science*, 2000: p. 9.
39. Tanner, J.M., *Sequence, tempo, and individual variation in the growth and development of boys and girls aged twelve to sixteen*. *Daedalus*, 1971: p. 907-930.
40. Schmidt, S., et al., *Study of age dependence of epiphyseal ossification of the hand skeleton*. *International journal of legal medicine*, 2008. **122**(1): p. 51-54.
41. Botte, M.J., *Surgical anatomy of the hand and upper extremity*. 2003: Lippincott Williams & Wilkins.
42. Chaumoitre, K., et al., *Influence of socioeconomic status and body mass index on bone age*. *Hormone research in paediatrics*, 2010. **74**(2): p. 129-135.
43. Tanner, J.M., et al., *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)*. 2001: London.
44. Gajdos, Z.K., et al., *Genetic determinants of pubertal timing in the general population*. *Molecular and cellular endocrinology*, 2010. **324**(1-2): p. 21-29.

45. Andreas, S., et al., *Forensic age estimation and ethnicity*. Legal medicine, 2005. **7**(2): p. 134-137.
46. Gillette, M.T. and K.E. Folinsbee, *Early menarche as an alternative reproductive tactic in human females: an evolutionary approach to reproductive health issues*. Evolutionary Psychology, 2012. **10**(5): p. 830-841.
47. Ariane Maggio. *Age estimation using the hand-wrist: morphological assessment of skeletal development in Western Australia*.
48. Andersen, E., *Skeletal maturation of Danish school children in relation to height, sexual development, and social conditions*. 1968.
49. Schmeling, A., et al., *The impact of economic progress and modernization in medicine on the ossification of hand and wrist*. International journal of legal medicine, 2006. **120**(2): p. 121-126.
50. Gat-Yablonski, G., M. Yackobovitch-Gavan, and M. Phillip, *Nutrition and bone growth in pediatrics*. Endocrinology and Metabolism Clinics, 2009. **38**(3): p. 565-586.
51. Benso, L., et al., *Variation of bone age progression in healthy children*. Acta Paediatrica, 1997. **86**(S423): p. 109-112.
52. Juul, A., *The effects of oestrogens on linear bone growth*. Apmis, 2001. **109**(S103): p. S124-S134.
53. des Nations Unies, O., *Convention internationale des droits de l' enfant (CIDE)*. 1989, Résolution.
54. de l'Enfant, C.d.D., *Observation Générale N 6 Traitement des enfants non accompagnés et des enfants séparés en dehors de leur pays d'origine*. 2005, CRC/GC/2005/6.[<http://daccess-ddsny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G05/438/06/PDF> ....
55. Smith, T. and L. Brownlees, *Age assessment practices: a literature review & annotated bibliography*. United Nations Children's Fund (UNICEF), New York, 2011.
56. *Loi n° 24-06 du 19 Chaoual 1445 correspondant au 28 avril 2024 modifiant et complétant l'ordonnance n° 66-156 du 18 Safar 1386 correspondant au 8 juin 1966 portant code pénal.*
57. *Loi n° 15-12 du 28 Ramadhan 1436 correspondant au 15 juillet 2015* 2015.
58. *Loi n° 07-05 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 modifiant et complétant l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975 portant code civil.*
59. 1442, J.O.D.L.R.A.N.J.E.O. and d. 2020, *constitution Algerienne*.
60. officiel, j., *la loi relative à la protection de l'enfant*. Loi n° 15-12 du 28 Ramadhan 1436 correspondant au 15 juillet 2015 relative à la protection de l'enfant., 2015.
61. *Loi n° 25-14 du 9 Safar 1447 correspondant au 3 août 2025 portant code de procédure pénale.* .
62. *Loi n° 14-08 du 13 Chaoual 1435 correspondant au 9 août 2014 modifiant et complétant l'ordonnance*
63. *Loi n° 84-11 du 9 juin 1984 portant Code de la famille modifiée et complétée*
64. de Almeida, G., *Ethical reflections in legal medicine and forensic medical expertise: looking beyond the norm*. Rev Bras Med. **1**: p. 6.

65. Scandoni, R. and F. De Micco, *Introductory Chapter: Forensic and Legal Medicine—State of the Art, Practical Applications, and New Perspectives*. Forensic and Legal Medicine-State of the Art, Practical Applications and New Perspectives, 2023.
66. Ludes, B., *L'expertise médico-légale*. Ethics, Medicine and Public Health, 2016. **2**(1): p. 87-92.
67. Hagen, M., et al., *Forensic age assessment of living adolescents and young adults at the Institute of Legal Medicine, Münster, from 2009 to 2018*. International Journal of Legal Medicine, 2020. **134**(2): p. 745-751.
68. Olze, A., et al., *Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization*. International Journal of Legal Medicine, 2004. **118**(3): p. 170-173.
69. Smith, D.E., L.T. Humphrey, and H.F. Cardoso, *Age estimation of immature human skeletal remains from mandibular and cranial bone dimensions in the postnatal period*. Forensic Science International, 2021. **327**: p. 110943.
70. Wolff, K., et al., *Skeletal age estimation in Hungarian population of known age and sex*. Forensic Science International, 2012. **223**(1-3): p. 374. e1-374. e8.
71. Schmidt, S., et al., *Studies in use of the Greulich–Pyle skeletal age method to assess criminal liability*. Legal Medicine, 2008. **10**(4): p. 190-195.
72. Byers, S.N. and C.A. Juarez, *Introduction to forensic anthropology*. 2023: Routledge.
73. Buikstra, J.E., *Standards for data collection from human skeletal remains*. Arkansas archaeological survey research series, 1994. **44**: p. 44.
74. Schmeling, A., et al., *Criteria for age estimation in living individuals*. International journal of legal medicine, 2008. **122**(6): p. 457-460.
75. Demirjian, A., H. Goldstein, and J.M. Tanner, *A new system of dental age assessment*. Human biology, 1973: p. 211-227.
76. Rogol, A.D., P.A. Clark, and J.N. Roemmich, *Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity*. The American journal of clinical nutrition, 2000. **72**(2): p. 521S-528S.
77. Tanner, J.M., *Growth and maturation during adolescence*. Nutrition reviews, 1981. **39**(2): p. 43-55.
78. Emmanuel, M. and B.R. Bokor, *Tanner stages*. 2017.
79. Styne, D.M., *Pediatric endocrinology: A clinical handbook*. 2023: Springer Nature.
80. Cameriere, R., et al., *Age estimation using carpals: study of a Slovenian sample to test Cameriere's method*. Forensic science international, 2008. **174**(2-3): p. 178-181.
81. Pineau, J.-C. and B. Ludes, *Estimation de l'âge civil de garçons âgés de 12, 5 à 16 ans*. La Revue de Médecine Légale, 2018. **9**(2): p. 68-73.
82. Ariane Maggio, *Age estimation using the hand-wrist: morphological assessment of skeletal development in Western Australia*.
83. Thiemann, H.-H., *Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter*. 2006: Georg Thieme Verlag.
84. Schmeling, A., et al., *Reference data for the Thiemann–Nitz method of assessing skeletal age for the purpose of forensic age estimation*. International Journal of Legal Medicine, 2006. **120**: p. 1-4.
85. Kaplowitz, P., et al., *Comparison of bone age readings by pediatric endocrinologists and pediatric radiologists using two bone age atlases*. Pediatric radiology, 2011. **41**: p. 690-693.

86. Tanner, J.M., *A new system for estimating skeletal maturity from the hand and wrist, with standards derived from a study of 2600 healthy British children*. Part II: the scoring system, 1959.
87. Whitehouse, R., W. Marshall, and J.M. Tanner, *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*. 1975: Academic Press.
88. Tanner, J., et al., *Skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method)*. New York, NY: Academic, 1975.
89. JM, T. and M.W. RH W, *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height*. London UK Academic, 1975.
90. Sempé, M., *L'analyse de la maturation squelettique à pédiatrie au quotidien*. 1987: Editions INSERM.
91. Santos, C., et al., *Comparative study of Greulich and Pyle Atlas and Maturus 4.0 program for age estimation in a Portuguese sample*. *Forensic Science International*, 2011. **212**(1-3): p. 276. e1-276. e7.
92. Gray, H., *Anatomy, descriptive and surgical*. 1907: Lea Brothers & Company.
93. Saint-Martin, P., *Apport de l'imagerie par résonance magnétique dans la détermination de l'âge chez le sujet vivant*. 2014, Toulouse 3.
94. Schmeling, A., et al., *Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography*. *International journal of legal medicine*, 2004. **118**: p. 5-8.
95. Schulz, R., et al., *Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans*. *International journal of legal medicine*, 2005. **119**(3): p. 142-145.
96. Schulz, R., et al., *Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans*. *International journal of legal medicine*, 2005. **119**: p. 142-145.
97. Risser, J.C., *The iliac apophysis: an invaluable sign in the management of scoliosis*. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 1958. **11**: p. 111-119.
98. Sauvegrain, J., H. Nahum, and H. Bronstein. *Study of bone maturation of the elbow*. in *Annales de radiologie*. 1962.
99. Cameriere, R., et al., *Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age*. *International journal of legal medicine*, 2012. **126**: p. 889-899.
100. Pyle, S.I. and N.L. Hoerr, *Radiographic atlas of skeletal development of the knee: a standard of reference*. (No Title), 1955.
101. Cameriere, R., et al., *Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age*. *International journal of legal medicine*, 2012. **126**(6): p. 889-899.
102. Michelson, N., *The calcification of the first costal cartilage among whites and negroes*. *Human Biology*, 1934. **6**(3): p. 543.
103. Garamendi, P.M., et al., *Forensic age estimation on digital X-ray images: medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age*. *Journal of Forensic Sciences*, 2011. **56**: p. S3-S12.

104. McNamara Jr, J.A. and L. Franchi, *The cervical vertebral maturation method: a user's guide*. The Angle Orthodontist, 2018. **88**(2): p. 133-143.
105. AlQahtani, S., *Dental age estimation in fetal and children*, in *Age Estimation*. 2019, Elsevier. p. 89-106.
106. Cléa, L., *FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE*. 2020, UNIVERSITE DE STRASBOURG.
107. Taylor, J. and M. Blenkin, *Age evaluation and odontology in the living*. Age Estimation in the Living: The Practitioners Guide, 2010: p. 176-201.
108. Sironi, E., et al., *Probabilistic graphical models to deal with age estimation of living persons*. International journal of legal medicine, 2016. **130**(2): p. 475-488.
109. Demirjian, A. and H. Goldstein, *New systems for dental maturity based on seven and four teeth*. Annals of human biology, 1976. **3**(5): p. 411-421.
110. Demirjian, A., *Tooth eruption in the French Canadian child*. Le Journal dentaire du Quebec, 1973. **10**(10): p. 9-9.
111. Demirjian, A., *Dental development: index of physiologic maturation*. Medecine et hygiène, 1978. **36**(1302): p. 3154-3159.
112. Nolla, C.M., *The development of permanent teeth*. 1952, University of Michigan Ann Arbor.
113. Massler, M., *The development of the human dentition*. J. Am. Dent. Assoc., 1941. **28**: p. 1153.
114. Nayyar, A.S., et al., *Age estimation: Current state and research challenges*. Journal of Medical Sciences, 2016. **36**(6): p. 209-216.
115. AlQahtani, S.J., M.P. Hector, and H.M. Liversidge, *Accuracy of dental age estimation charts: Schour and Massler, Ubelaker and the London Atlas*. American journal of physical anthropology, 2014. **154**(1): p. 70-78.
116. Krogman, W.M. and M.Y. Iscan, *The human skeleton in forensic medicine*, Charles C. Thomas, Springfield, IL, 1986. **15**(2): p. 202-08.
117. Schmitt, A., *Estimation de l'âge au décès des sujets adultes à partir du squelette: des raisons d'espérer*. Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris. BMSAP, 2002. **14**(14 (1-2)).
118. Hartnett, K.M., *Analysis of age-at-death estimation using data from a new, modern autopsy sample—part I: pubic bone*. Journal of forensic sciences, 2010. **55**(5): p. 1145-1151.
119. Martrille, L., et al., *Estimation de l'âge au décès à partir de la quatrième côte: test de l'algorithme Global Illumination sur un échantillon médico-légal français*. Archives of Legal Medicine, 2024. **15**(2): p. 100448.
120. İşcan, M.Y., S.R. Loth, and R.K. Wright, *Metamorphosis at the sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males*. American journal of physical anthropology, 1984. **65**(2): p. 147-156.
121. Todd, T.W., *Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis*. American journal of physical anthropology, 1920. **3**(3): p. 285-334.
122. Brooks, S. and J.M. Suchey, *Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods*. Human evolution, 1990. **5**(3): p. 227-238.
123. <LOVEJOY Surface auriculaire de l'os iliaque.pdf>.
124. Schmitt, A., *Une nouvelle méthode pour estimer l'âge au décès des adultes à partir de la surface sacro-pelvienne iliaque*. Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris. BMSAP, 2005. **17**(17 (1-2)): p. 89-101.

125. Meindl, R.S. and C.O. Lovejoy, *Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures*. American journal of physical anthropology, 1985. **68**(1): p. 57-66.
126. Todd, T.W. and D. Lyon, *Cranial suture closure*. Am. J. Phys. Anthropol, 1925. **8**: p. 23.
127. Franco, A., et al., *Détermination de l'âge des adultes en post-mortem: intérêt de l'utilisation des critères de Gustafson*. Antropo, 2006(11): p. 271-277.
128. Lamendin, H., et al., *A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method*. Journal of forensic sciences, 1992. **37**(5): p. 1373-1379.
129. Baccino, E. and A. Schmitt, *Determination of adult age at death in the forensic context, in Forensic anthropology and medicine: complementary sciences from recovery to cause of death*. 2006, Springer. p. 259-280.
130. El Osta, N. and L. El Osta, *DÉTERMINATION DE L'ÂGE DENTAIRE EN ODONTOLOGIE MÉDICO-LÉGALE*. International Arab Journal of Dentistry, 2014. **5**(1).
131. Baccino, E., *Identification des cadavres. Intérêt de l'utilisation combinée de méthodes anthropologiques et odontologiques*. Bull Acad Natle Chir Dent, 2002. **45**: p. 39-49.
132. Steadman, D.W., *Hard Evidence. Case Studies in Forensic Anthropology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
133. Gustafson, G., *Age determinations on teeth*. The Journal of the American Dental Association, 1950. **41**(1): p. 45-54.
134. KR, B., *Estimation of age from individual adult teeth*. J. Forensic Sci., 1976. **21**: p. 343-356.
135. Nada, E. and E. Lana, *Détermination de l'âge dentaire en odontologie médico-légale*. International Arab Journal of Dentistry (IAJD), 2014. **5**(1): p. 19-25.
136. Becart, A., *Le domaine d'activité de l'odontologiste médico-légal*. Institut de Médecine Légale de Lille, 2008.
137. DEMIRJIAN, A. and H. GOLDSTEIN. *NEW SYSTEM OF DENTAL AGE ASSESSMENT*. in *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY*. 1971. WILEY-BLACKWELL 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ USA.
138. Baghdadi, Z.D., *Dental maturity in Saudi children using the Demirjian method: a comparative study and new prediction models*. International scholarly research Notices, 2013. **2013**(1): p. 390314.
139. Gill, P., R. Sparkes, and C. Kimpton, *Development of guidelines to designate alleles using an STR multiplex system*. Forensic science international, 1997. **89**(3): p. 185-197.
140. Bacquet, J., et al., *Estimation de l'âge médico-légal grâce à l'étude de la méthylation de l'ADN: revue de la littérature*. La Revue de Médecine Légale, 2019. **10**(4): p. 129-139.
141. Chen, T., et al., *Establishment and maintenance of genomic methylation patterns in mouse embryonic stem cells by Dnmt3a and Dnmt3b*. Molecular and cellular biology, 2003. **23**(16): p. 5594-5605.
142. Berdyshev, G., et al., *Nucleotide composition of DNA and RNA from somatic tissues of humpback and its changes during spawning*. Biokhimiia (Moscow, Russia), 1967. **32**(5): p. 988-993.
143. Schoeftner, S. and M.A. Blasco, *A 'higher order' of telomere regulation: telomere heterochromatin and telomeric RNAs*. The EMBO journal, 2009. **28**(16): p. 2323-2336.
144. Garcia, C.K., W.E. Wright, and J.W. Shay, *Human diseases of telomerase dysfunction: insights into tissue aging*. Nucleic acids research, 2007. **35**(22): p. 7406-7416.

145. Alhousseini, N. and A. Madboly, *Telomere length measurement by quantitative real-time PCR: a molecular marker for human age prediction*. American journal of biochemistry and biotechnology, 2016. **12**(1): p. 64-71.
146. Alexandrov, L.B., et al., *Clock-like mutational processes in human somatic cells*. Nature genetics, 2015. **47**(12): p. 1402-1407.
147. Tanner, J.M., *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height*. TW 2 Method, 1983: p. 50-106.
148. Adler, N.E. and J.M. Ostrove, *Socioeconomic status and health: what we know and what we don't*. Annals of the New York academy of Sciences, 1999. **896**(1): p. 3-15.
149. Bradley, R.H. and R.F. Corwyn, *Socioeconomic status and child development*. Annual review of psychology, 2002. **53**(2002): p. 371-399.
150. Bogin, B., *Patterns of human growth*. Vol. 88. 2020: Cambridge University Press.
151. Group, W.M.G.R.S. and M. de Onis, *WHO Child Growth Standards based on length/height, weight and age*. Acta paediatrica, 2006. **95**: p. 76-85.
152. Onis, M.d., et al., *Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents*. Bulletin of the World health Organization, 2007. **85**(9): p. 660-667.
153. Schmidt, S., et al., *Skeletal age determination of the hand: a comparison of methods*. International journal of legal medicine, 2013. **127**(3): p. 691-698.
154. Govender, D. and M. Goodier, *Bone of contention: The applicability of the Greulich–Pyle method for skeletal age assessment in South Africa*. SA journal of radiology, 2018. **22**(1): p. 1-6.
155. Tsehay, B., M. Afework, and M. Mesifin, *Assessment of reliability of Greulich and Pyle (gp) method for determination of age of children at Debre Markos Referral Hospital, East Gojjam Zone*. Ethiopian Journal of Health Sciences, 2017. **27**(6): p. 631-640.
156. Martín Pérez, S.E., et al., *Precision and accuracy of radiological bone age assessment in children among different ethnic groups: A systematic review*. Diagnostics, 2023. **13**(19): p. 3124.
157. Gaskin, C.M., et al., *Skeletal development of the hand and wrist: a radiographic atlas and digital bone age companion*. 2011: Oxford University Press.
158. Brotons, A., et al., *Concordances and correlations between chronological, dental and bone ages: A retrospective study in French individuals*. Forensic Science International, 2022. **331**: p. 111150.
159. Poland, J., *Skiagraphic atlas showing the development of the bones of the wrist and hand: for the use of students and others*. 1898: Smith, Elder.
160. van Rijn, R.R. and C. van Kuijk, *Normal Skeletal Development of the Hand*, in *Fundamentals of Hand and Wrist Imaging*. 2001, Springer. p. 139-153.
161. Schmeling, A., et al., *Criteria for age estimation in living individuals*. International journal of legal medicine, 2008. **122**: p. 457-460.
162. Lin, F.-Q., et al., *Comparative study of Gilsanz-Ratib digital atlas and Greulich-Pyle atlas for bone age estimation in a Chinese sample*. Annals of human biology, 2015. **42**(6): p. 523-527.
163. Dahlberg, P.S., et al., *A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas*. European radiology, 2019. **29**(6): p. 2936-2948.

164. Pape, J., et al. *Applicability and robustness of an artificial intelligence-based assessment for Greulich and Pyle bone age in a German cohort*. in *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2024. Georg Thieme Verlag KG.
165. Calfee, R.P., et al., *Skeletal and chronological ages in American adolescents: current findings in skeletal maturation*. *Journal of children's orthopaedics*, 2010. **4**(5): p. 467-470.
166. Hackman, L. and S. Black, *The reliability of the Greulich and Pyle atlas when applied to a modern Scottish population*. *J Forensic Sci*, 2013. **58**: p. 114-119.
167. Büken, B., et al., *Is the assessment of bone age by the Greulich–Pyle method reliable at forensic age estimation for Turkish children?* *Forensic science international*, 2007. **173**(2-3): p. 146-153.
168. Boeyer, M.E., R.J. Sherwood, and C.B. Deroche, *Early Maturity as the New Normal: A Century-long Study of Bone Age*. *Clin Orthop Relat Res*, 2018. **476**: p. 2112-2122.
169. Himes, J.H., *An early hand-wrist atlas and its implications for secular change in bone age*. *Ann Hum Biol*, 1984. **11**: p. 71-75.
170. Chiang, K.-H., et al., *The reliability of using Greulich-Pyle method to determine children's bone age in Taiwan*. *Tzu Chi Med J*, 2005. **17**(6): p. 417-20.
171. Chaumoitre, K., et al., *Estimation de l'âge osseux par l'atlas de Greulich et Pyle: comparaison de 3 échantillons contemporains d'origine géographique différente*. *Journal de Radiologie*, 2007. **88**(10): p. 1376.
172. Griffith, J., J. Cheng, and E. Wong, *Are western skeletal age standards applicable to the Hong Kong Chinese population? A comparison of the Greulich and Pyle method and the Tanner and Whitehouse method*. *Hong Kong Medical Journal*, 2007. **13**(3): p. S28.
173. Zafar, A.M., et al., *An appraisal of Greulich-Pyle Atlas for skeletal age assessment in Pakistan*. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 2010. **60**(7): p. 552.
174. Patel, P.S., et al., *Accuracy of two dental and one skeletal age estimation methods in 6-16 year old Gujarati children*. *Journal of forensic dental sciences*, 2015. **7**(1): p. 18-27.
175. Suri, S., et al., *Longitudinal comparison of skeletal age determined by the Greulich and Pyle method and chronologic age in normally growing children, and clinical interpretations for orthodontics*. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. **143**(1): p. 50-60.
176. Garamendi, P., et al., *Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old: a survey on a Moroccan origin population*. *Forensic science international*, 2005. **154**(1): p. 3-12.
177. Chaumoitre, K., et al., *Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance*. *European radiology*, 2017. **27**(3): p. 1032-1043.
178. Abdallah, A., et al., *Estimation de la maturation squelettique d'un groupe d'enfants et adolescents algériens âgés de 7 mois à 14 ans en appliquant la méthode de Sempé: résultats préliminaires*. *Morphologie*, 2018. **102**(338): p. 167.
179. Bayer, L.M., *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. *California medicine*, 1959. **91**(1): p. 53.
180. Passone, C., et al., *Skeletal maturation of the school population of Turin. Comparison between of TW2 and Greulich-Pyle methods. III. 7 and 9-year-old males*. *Minerva Pediatrica*, 1981. **33**(9): p. 436-437.
181. Lewis, C., C. Lavy, and W. Harrison, *Delay in skeletal maturity in Malawian children*. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 2002. **84**(5): p. 732-734.

182. Cole, T. and A. Cole, *Bone age, social deprivation, and single parent families*. Archives of disease in childhood, 1992. **67**(10): p. 1281-1285.
183. Schmeling, A., et al., *Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations*. International journal of legal medicine, 2000. **113**(5): p. 253-258.
184. Kimura, K., *Skeletal maturity of the hand and wrist in Japanese children in Sapporo by the TW2 method*. Annals of Human Biology, 1977. **4**(5): p. 449-453.
185. Kimura, K., *Skeletal maturity of the hand and wrist in Japanese children by the TW2 method*. Annals of Human Biology, 1977. **4**(4): p. 353-356.
186. Greulich, W.W., *A comparison of the physical growth and development of American-born and native Japanese children*. 1957.
187. Ferrante, L. and R. Cameriere, *Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation*. International journal of legal medicine, 2009. **123**(4): p. 277-283.
188. Tisè, M., et al., *Applicability of Greulich and Pyle method for age assessment in forensic practice on an Italian sample*. International journal of legal medicine, 2011. **125**(3): p. 411-416.
189. Castillo, R.F. and M.d.C.L. Ruiz, *Assessment of age and sex by means of DXA bone densitometry: application in forensic anthropology*. Forensic science international, 2011. **209**(1-3): p. 53-58.
190. C. Zapico, S. and D.H. Ubelaker, *Application of aspartic acid racemization for age estimation in a Spanish sample*. Biology, 2022. **11**(6): p. 856.
191. Karydi, C., et al., *Estimation of age-at-death using cortical bone histomorphometry of the rib and femur: a validation study on a British population*. Biology, 2022. **11**(11): p. 1615.
192. Schmeling, A., et al., *Study Group on Forensic Age Diagnostics of the German Society of Legal Medicine: criteria for age estimation in living individuals*.

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : FICHE TECHNIQUE

---

### 1-Identification du patient :

-Nom :

-Prénom :

- sexe :                      Masculin                       Féminin

-date de naissance :

- Date d'inscription :

- Année scolaire :

- Durée de séjour à l'école : \_\_\_\_\_ jours

### 2- profession des parents :

-Profession du père :

-Profession de la mère :

### 3 -informations socio- démographiques :

-Nombre frères et sœurs :

- Résidence familiale : appartement :                      villa :                      nombre de chambre :

- L'origine des parents :

- adresse actuelle :

3- Antécédents familiaux                      1 oui                       2 non

### 4-Antécédents médicaux-chirurgicaux :

Médicaux                     

Chirurgicaux                     

Traumatique                     

5- taille :

6- poids :

7- BMI :

9- examen physique :

-examen de la main et du poignet :

- examen bucco-dentaire :

**10- radiographie de la main et du poignet gauche :**

**11- interprétation :**

- 1<sup>ère</sup> interprétation :
- 2<sup>ème</sup> interprétation :

**12- la durée de l'interprétation :**

1 minute :            1-2 minutes :            plus de 2 minutes :

**13- l'acuité visuelle**

**14- l'état général**

## ANNEXE 2 : fiche de consentement

---

### Fiche de consentement de l'enfant

N° de fiche /\_/\_/\_/\_/

DATE /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

Je soussigné :

Nom /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

Prénom /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

après avoir été bien informé sur l'objet de ce travail de recherche, Je consens volontairement à participer à cette étude scientifique.

Signature

### Fiche de consentement parental

Je soussigné :

Nom /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

Prénom /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

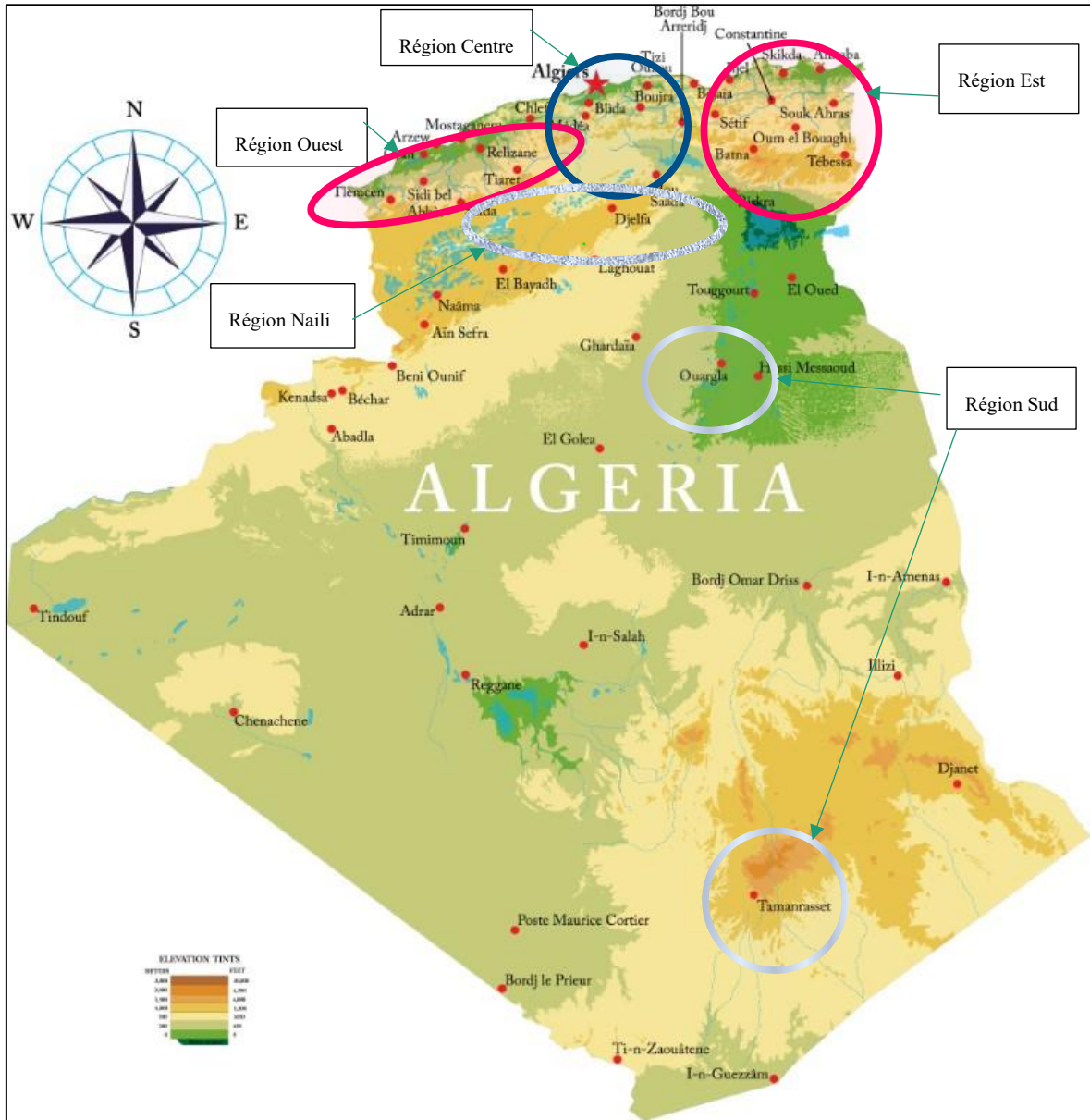
Présent ce jour le /\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/\_/

après avoir été bien informé sur l'objet de ce travail de recherche, Je consens à ce que mon enfant participe à cette étude.

Signature

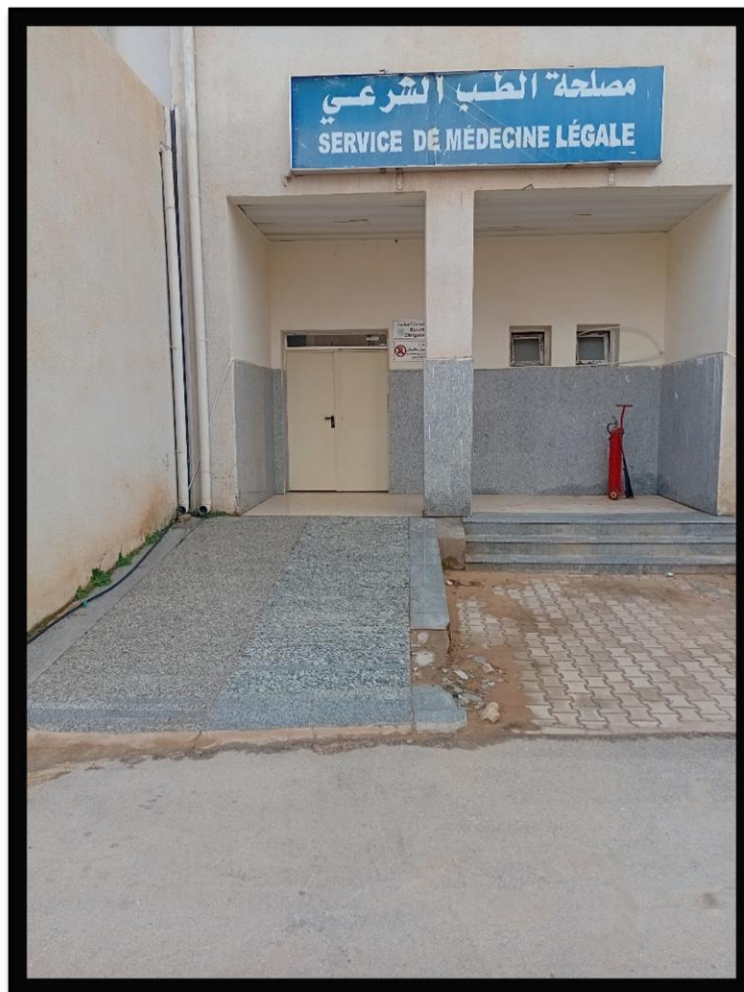
### ANNEXE 3 : Carte de l'Algérie montrant les lieux de recrutement

Source : [https://www.mappemonde.net/wpcontent/uploads/2019/06/Mappemonde.net\\_.png](https://www.mappemonde.net/wpcontent/uploads/2019/06/Mappemonde.net_.png)



Annexe 4: Hôpital Mixte de Djelfa Elmodjahad Hathat Boubaker

---



## Annexe 5 : Guide De Prélèvement Pour Les Analyses D'ADN En Post Mortem

([https://iml-strasbourg.fr/images/pdf/guide\\_prelevements\\_ADN.pdf](https://iml-strasbourg.fr/images/pdf/guide_prelevements_ADN.pdf))

<i>Etapes</i>	<i>démarche</i>
<i>Etape N° 1</i>	S'équiper d'un masque et d'une charlotte
<i>Etape N° 2</i>	2. Mettre une première paire de gants en évitant de toucher les doigts du gant à mains nues
<i>Etape N° 3</i>	Mettre une seconde paire de gants (avec laquelle on ne touche rien d'autre que le prélèvement)
<i>Etape N° 4</i>	. Choisir le prélèvement approprié <ul style="list-style-type: none"><li>• Dent : incluse dans l'os (si possible) mais surtout non fissurée, non cassée, non cariée et avec des racines fermées.</li></ul> Si les dents sont en très mauvais état prélever un os. <ul style="list-style-type: none"><li>• Os long : os lourd, lisse et avec une corticale épaisse. Ne pas prélever d'os friable, fissuré et trop léger. Une section de l'os peut être réalisée, dans ce cas préférer une coupe dans la diaphyse.</li></ul>
<i>Etape N° 5</i>	Réaliser le prélèvement (si des outils sont nécessaires, ils doivent être décontaminés)
<i>Etape N° 6</i>	Placer immédiatement le prélèvement dans un contenant stérile ou « propre » (grip, tube, enveloppe).  Ne surtout pas laver le prélèvement.
<i>Etape N° 7</i>	Refermer de façon hermétique le contenant
<i>Etape N° 8</i>	Identifier le prélèvement sur l'extérieur du contenant
<i>Etape N° 9</i>	Changer la seconde paire de gants
<i>Etape N° 10</i>	Procéder au prélèvement suivant Remarque : Réaliser, si possible, au moins deux prélèvements par individu
<i>Etape N° 11</i>	Stocker les prélèvements dans un lieu sec, pas trop chaud et éviter les fortes variations de températures

## Résumé :

---

*L'estimation de l'âge chez la personne vivante est une procédure essentielle appliquée dans diverses situations, telles que l'observation de la croissance, l'enregistrement des individus non-inscrits sur le registre d'état civil, la détermination de la responsabilité et de la majorité pénale et la protection des mineurs immigrés non accompagnés dont l'âge est inconnu. L'estimation de l'âge osseux est un moyen d'évaluer l'âge chronologique des enfants et les adolescents à des fins cliniques ou médico-légales. La méthode Greulich et Pyle est l'une des plus fréquemment utilisées pour évaluer l'âge squelettique à partir de radiographies. Cependant, cette méthode repose sur une analyse comparative avec une série de radiographies standard collectées d'une population nord-américaine d'origine caucasienne des années 1930, et son actuelle applicabilité sur les différentes populations contemporaines est mise en cause. Plusieurs auteurs insistent sur la nécessité d'interpréter les résultats avec prudence si la méthode n'a pas été testée sur la population d'origine de la personne [192]. L'AGP n'a jamais été testée sur la population algérienne. Dès lors, une question centrale se pose : cet atlas est-il réellement adapté et fiable pour évaluer l'âge osseux des adolescents algériens âgés de 12 à 18 ans ? De là cette thèse a été entreprise pour évaluer l'applicabilité de la méthode de l'AGP à la population Algérienne âgée de 12 à 18 ans avec un accent particulier sur la tranche d'âge critique, de 15-18 ans, qui représente des enjeux procéduraux et judiciaires décisifs, rappelant que le mineur de dix (10) ans et de moins de treize (13) ans ne peut faire l'objet que de mesures de protection ou de rééducation. Tandis que le mineur de treize à seize ans encourt une responsabilité pénale atténuée. Il est à noter que ce principe d'atténuation s'applique également aux mineurs âgés de 16 ans à moins de dix-huit ans. En vertu de la législation pénale en vigueur en Algérie, la majorité pénale étant fixé à dix-huit ans.*

*Notre étude portait sur un échantillon de 258 enfants algériens de bonne santé connus, des deux sexes (142 garçons et 116 filles). Après un examen physique de chaque enfant et une prise des mesures anthropométriques, une radiographie standard de la main et du poignet gauche pour chaque enfant a été réalisée puis interprétée par deux observateurs. Les médianes de l'âge chronologique ont été comparées aux médianes de l'âge osseux ainsi que les moyennes avec leurs écart-types, puis, dans un deuxième temps, les différences entre l'âge osseux et l'âge chronologique ont été testées pour chaque groupe d'âge et selon le sexe.*

*Les résultats ont montré une bonne corrélation entre l'âge osseux et l'âge chronologique dans l'échantillon globale. La médiane de l'AO chez les garçons était de 14,00 (13,50, 17,00) et chez les filles de 17 (16,00, 18,00) contre une médiane de l'AC chez les garçons de 14,5 (13,50, 16,00) et chez les filles de 16 (15,5, 17,00). La médiane la différence AO-AC chez les garçons était de 0 (-0,5, 1,0) avec une moyenne de  $0,26 \pm 0,96$  et celle chez les filles était de 0,5 (0,00, 1,00) avec une moyenne  $0,71 \pm 0,87$ . La médiane des garçons âgés de [12-15] était de 0,00 (-0,5, +0,5) et la moyenne était de  $0,030 \pm 0,84$ , la médiane des filles âgées de [12-15] était de 1,00 (+0,75 - +1,62) et la moyenne était de  $0,95 \pm 0,89$ . La médiane de la différence AO-AC des garçons âgés de 15 - 18 était de 0,50 (00 - 01) et la moyenne était de  $0,57 \pm 1,03$ . La médiane des filles de 15- 18 était de 0,50(0-+01) et la moyenne était de  $0,69 \pm 0,87$ . L'AGP est applicable pour les garçons de 12 à 14 ans, tandis qu'on a observé des surestimations significatives de l'AC par l'AGP pour les garçons de 15 à 18 ans et chez les filles de 12 à 16 ans. Une similitude des images radiologiques des filles de 17 et 18 ans a été observée.*

*En conclusion, cette étude a montré l'applicabilité de l'AGP pour les garçons de 12 à 14 ans, ses limites d'application ont été marquées chez les filles de 17 et 18 ans, une marge d'erreur importante en surestimant l'âge chronologique par l'AGP a été démontré chez les garçons de 15 à 18 ans et chez les filles de 12 à 16 ans. Une influence du statut socio-economique, de l'origine géographique et de l'indice de masse corporelle sur la maturation osseuse a été démontrée. Nous recommandons de compléter cette étude par une autre étude multicentrique avec une population plus diversifiées en incluant tous âges de l'AGP.*

**Mots clés :** *Estimation de l'âge, Atlas de Greulich et Pyle, âge osseux, maturation osseuse, population algérienne*

## Abstract:

---

Estimating the age of a living person is an essential procedure used in various situations, such as monitoring growth, registering individuals who are not listed in the civil registry, determining criminal responsibility and age of majority, and protecting unaccompanied immigrant minors whose age is unknown. Bone age estimation is a means of assessing the chronological age of children and adolescents for clinical or forensic purposes. The Greulich and Pyle method is one of the most frequently used methods for assessing skeletal age from X-rays. However, this method is based on a comparative analysis with a series of standard X-rays collected from a North American population of Caucasian origin in the 1930s, and its current applicability to different contemporary populations is being questioned. Several authors emphasize the need to interpret the results with caution if the method has not been tested on the person's population of origin [134]. The AGP has never been tested on the Algerian population. This raises a key question: is this atlas truly suitable and reliable for assessing the bone age of Algerian adolescents aged 12 to 18? This thesis was therefore undertaken to assess the applicability of the AGP method to the Algerian population aged 12 to 18, with a particular focus on the critical age group of 15-18, which represents decisive procedural and judicial issues, bearing in mind that minors aged 10 and under 13 can only be subject to protective or rehabilitative measures. Minors aged 13 to 16 incur reduced criminal responsibility. It should be noted that this principle of mitigation also applies to minors aged 16 to under 18. Under current criminal law in Algeria, the age of criminal responsibility is set at 18.

Our study involved a sample of 258 healthy Algerian children of both sexes (142 boys and 116 girls). After a physical examination of each child and anthropometric measurements, a standard X-ray of the left hand and wrist was taken for each child and then interpreted by two observers. The medians of chronological age were compared with the medians of bone age, as were the means with their standard deviations. Next, the differences between bone age and chronological age were tested for each age group and according to gender.

The results showed a good correlation between bone age and chronological age in the overall sample. The median BA in boys was 14.00 (13.50, 17.00) and in girls 17 (16.00, 18.00), compared with a median BA of 14.5 (13.50, 16.00) in boys and 16 (15.5, 17.00) in girls. The median AO-AC difference in boys was 0 (-0.5, 1.0) with a mean of  $0.26 \pm 0.96$ , and in girls it was 0.5 (0.00, 1.00) with a mean of  $0.71 \pm 0.87$ . The median for boys aged [12-15] was 0.00 (-0.5, +0.5) and the mean was  $0.030 \pm 0.84$ , while the median for girls aged [12-15] was 1.00 (+0.75 - +1.62) and the mean was  $0.95 \pm 0.89$ . The median AO-AC difference for boys aged 15-18 was 0.50 (00-01) and the mean was  $0.57 \pm 1.03$ . The median for girls aged 15-18 was 0.50 (0-+01) and the mean was  $0.69 \pm 0.87$ . AGP is applicable for boys aged 12 to 14, while significant overestimations of AC by AGP were observed for boys aged 15 to 18 and girls aged 12 to 16. A similarity in radiological images was observed for girls aged 17 and 18.

In conclusion, this study demonstrated the applicability of AGP for boys aged 12 to 14, while its limitations were evident in girls aged 17 and 18. and a significant margin of error in overestimating chronological age by AGP was demonstrated in boys aged 15 to 18 and girls aged 12 to 16. An influence of socioeconomic status, geographic origin, and body mass index on bone maturation was demonstrated. We recommend supplementing this study with another multicenter study with a more diverse population, including all ages of AGP.

**Keywords:** Age estimation, Greuliche and Pyle Atlas, bone age, bone maturation, Algerian population.

تقدير عمر الشخص الحي هو إجراء أساسي يُطبق في حالات مختلفة، مثل مراقبة النمو، وتسجيل الأفراد غير المسجلين في السجل المدني، وتحديد المسؤولية الجنائية والبلوغ الجنائي، وحماية القاصرين المهاجرين غير المصحوبين بنوهم والذين لا يُعرف عمرهم. تقدير العمر العظمي هو وسيلة لتقييم العمر الزمني للأطفال والمراهقين لأغراض سريرية أو طبية قانونية طريقة غريوليش وبابل هي واحدة من أكثر الطرق ذلك، تعتمد هذه الطريقة على تحليل مقارن مع سلسلة من الأشعة السينية القياسية التي استخدمًا لتقييم العمر الهيكلية من خلال الأشعة السينية. ومع تم جمعها من سكان أمريكا الشمالية من أصل فوقازي في الثلاثينيات من القرن الماضي، ويتم التشكيك في قابليتها للتطبيق حاليًا على مختلف السكان المعاصرين. يؤكد العديد من المؤلفين على ضرورة تفسير النتائج بحذر إذا لم يتم اختبار الطريقة على السكان الأصليين للشخص

لم يتم اختبار على السكان الجزائريين من قبل. وبالتالي، فإن السؤال المركزي الذي يطرح نفسه هو: هل هذا الأطلس مناسب وموثوق حقًا لتقييم العمر العظمي للمراهقين الجزائريين الذين تتراوح أعمارهم بين 12 و18 عامًا؟ من هذا المنطلق، تم إجراء هذه الدراسة لتقييم قابلية تطبيق طريقة على السكان الجزائريين الذين تتراوح أعمارهم بين 12 و18 عامًا، مع التركيز بشكل خاص على الفئة العمرية الحرجة التي تتراوح بين 15 و18 عامًا، والتي تمثل تحديات إجرائية وقضائية حاسمة، مع التنكير بأن القاصر الذي يبلغ من العمر 10 سنوات وأقل من 13 سنة لا يمكن أن يخضع إلا لتدابير الحماية أو إعادة التأهيل. بينما يتحمل القاصر الذي يتراوح عمره بين 13 و16 سنة مسؤولية جنائية مخففة. وتجدر الإشارة إلى أن مبدأ التخفيف هذا ينطبق أيضاً على القاصرين الذين تتراوح أعمارهم بين 16 و18 سنة. بموجب التشريع الجنائي الساري في الجزائر، تحدد سن الرشد الجنائي بـ 18 سنة

شملت دراستنا عينة من 258 طفلاً جزائرياً معروفاً بصحتهم الجيدة، من كلا الجنسين (142 صبياً و116 فتاة). بعد إجراء فحص جسدي لكل طفل وقياس قياساته الأنثروبومترية، تم إجراء تصوير أشعة سينية قياسية لليد والمعصم الأيسر لكل طفل، ثم تم تحليل النتائج من قبل مراقبين اثنين. تمت مقارنة متوسطات العمر الزمني بمتوسطات العمر العظمي وكذلك المتوسطات مع الانحرافات المعيارية، ثم في مرحلة ثانية، تم اختبار الفروق بين أظهرت النتائج وجود ارتباط جيد بين العمر العظمي والعمر الزمني في العينة العمر العظمي والعمر الزمني لكل فئة عمرية ووفقاً للجنس إجمالية. كان متوسط العمر العظمي لدى الأولاد 14.00 (13.50، 17.00) ولدى البنات 17 (16.00، 18.00) مقابل متوسط العمر لدى الأولاد 0 AO-AC التقويمي لدى الأولاد 14.5 (13.50، 16.00) ولدى البنات 16 (15.5، 17.00). كان متوسط الفرق بين (-0.5، 1.0) بمتوسط  $0.26 \pm 0.96$ ، وكان لدى البنات 0.5 (0.00، 1.00) بمتوسط  $0.71 \pm 0.87$ . كان متوسط الفتيان الذين تتراوح أعمارهم بين [12-15] هو 0.00 (-0.5، +0.5) وكان المتوسط  $0.030 \pm 0.84$ ، وكان متوسط الفتيات اللواتي تتراوح أعمارهن للفتيان الذين تتراوح AO-AC بين [12-15] هو 1.00 (+0.75 - +1.62) وكان المتوسط  $0.95 \pm 0.89$ . كان متوسط الفرق بين أعمارهم بين 15 و 18 عامًا 0.50 (00 - 01) وكان المتوسط  $0.57 \pm 1.03$ . كان متوسط الفتيات في سن 15-18 عامًا 0.50 (-0) على الأولاد الذين تتراوح أعمارهم بين 12 و14 سنة، في حين لوحظت تقديرات AGP (+01) وكان المتوسط  $0.69 \pm 0.87$ . ينطبق للأولاد الذين تتراوح أعمارهم بين 15 و18 سنة وللفتيات اللواتي تتراوح أعمارهم بين AGP بواسطة AC مفرطة بشكل ملحوظ لـ 12 و16 سنة. ولوحظت تشابه في الصور الشعاعية للفتيات اللواتي تتراوح أعمارهم بين 17 و18 سنة

**الكلمات المفتاحية:** تقدير العمر، أطلس غريوليش وبابل، العمر العظمي، نضج العظام السكان الجزائريون